CSAM

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE 2024

ӘЛ-ФАРАБИ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ 90-ЖЫЛДЫҒЫНА АРНАЛҒАН «ИНФОРМАТИКА ЖӘНЕ ҚОЛДАНБАЛЫ МАТЕМАТИКА» IX ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯНЫҢ МАТЕРИАЛДАРЫ

МАТЕРИАЛЫ IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ИНФОРМАТИКА И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА», ПОСВЯЩЕННОЙ 90-ЛЕТИЮ КАЗАХСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

MATERIALS IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE «COMPUTER SCIENCE AND APPLIED MATHEMATICS» DEDICATED TO THE 90TH ANNIVERSARY OF AL-FARABI KAZAKH NATIONAL UNIVERSITY

31.10-01.11.2024
АЛМАТЫ Қ., ӘЛ-ФАРАБИ ДАҢҒЫЛЫ, 71
Г. АЛМАТЫ, ПР. АЛЬ-ФАРАБИ, 71
71 AL-FARABI AVE., ALMATY

iict.kz
conf.iict.kz

МАТЕРИАЛЫ

IX Международной научно-практической конференции

«Информатика и прикладная математика», посвященной 90-летию Казахского национального университета имени аль-Фараби

Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК (Республика Казахстан, г.Алматы)

Казахский национальный университет имени аль-Фараби (Республика Казахстан, г.Алматы)

Люблинский Технический Университет (г.Люблин, Польша)

Университет «Туран» (Республика Казахстан, г.Алматы)

31.10 - 01.11.2024 г.

Алматы
2024

УДК 004.4
ББК 32.973.202
П 78

Главный редактор:
академик НАН РК, доктор физико-математических наук, профессор
Калимолдаев М.Н.

Ответственные редакторы:
ученый секретарь ИИВТ КН МНВО РК, PhD **Усатова О.А.**
старший научный сотрудник ИИВТ КН МНВО РК, PhD **Зиятбекова Г.З.**

П78 **Информатика и прикладная математика:** Мат. IX Межд. науч.-практ. конф. (31.10 - 01.11.2024 г.). – Алматы, 2024, – 830 с.

ISBN 978-601-228-472-0

В сборнике опубликованы доклады, представленные учеными от Республики Казахстан, Российской Федерации, Латвии, Польши, Республики Белорусь, Японии, Ирана, Малайзии, Кыргызской Республики, Республики Узбекистан и других.

Рассмотрены актуальные вопросы в области математики, информатики и управления: математического моделирования сложных систем и бизнес-процессов, исследования и разработки защищенных и интеллектуальных информационных и телекоммуникационных технологий, математической теории управления, технологий искусственного интеллекта.

Материалы сборника предназначены для научных работников, докторантов, магистрантов, а также студентов старших курсов.

УДК 004.4
ББК 32.973.202

ISBN 978-601-228-472-0
© Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, 2024

Программный комитет

Председатель Международного Программного комитета:

- Калимолдаев М.Н., академик НАН РК, д.ф.-м.н., профессор, Республика Казахстан

Сопредседатели Международного Программного комитета:

- **Айтжанова Ж. Н.,** Член Правления – проректор по научно-инновационной деятельности КазНУ им. аль-Фараби, д.э.н., доцент, Республика Казахстан
- Wójcik Waldemar, professor, Poland
- Разакова Д.И., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан

Заместители Председателя Международного Программного комитета:

- Мансурова М.Е., к.ф.-м.н., профессор Республика Казахстан
- Усатова О.А., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Зиятбекова Г.З., PhD, Республика Казахстан

Члены международного программного комитета:

- Галымкаир Мутанов, академик НАН РК, д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Abdul Razaque, PhD, USA
- Aijaz Shaikh, professor, Finland
- Andrzej Smolarz, professor, Poland
- Dietmar Beyer, PhD, Germany
- Erol Kurt, professor, Turkey
- Farajzadeh.A., professor, Iran.
- Hazar Elman, professor, Turkey
- Keylan Alimhan, professor, Japan
- Maksim Iavich, PH.D., professor, Tbilisi
- Marat Akhmet, professor, Turkey
- Michele Pagano, professor, Italy
- Mohamed Othman, professor, Malaysia
- Müslüm Arici, professor, Turkey
- Ravil Muhamediev, professor, Latvia
- Айда-Заде К.Р., д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. НАН

Азербайджана
- Алгазы К.Т., PhD, Республика Казахстан
- Аманжолова С.Т., к.т.н., ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Амиргалиев Е.Н., академик НАН РК, д.т.н., профессор
- Амиргалиева С.Н., д.ф.- м.н., профессор, Республика Казахстан
- Амирханова Г.А., PhD, Республика Казахстан
- Ахметжанов М., PhD, Республика Казахстан
- Ашимов А. А., академик НАН РК, д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Бабенко Т.В.,д.т.н, профессор, Республика Казахстан
- Байтенова Л.М., д.э.н., профессор, Республика Казахстан
- Байшемиров Ж.Д., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Барахнин В.Б., д.т.н., профессор, Россия
- Бегимбаева Е.Е., PhD, Республика Казахстан
- Бектемесов М.А., д.ф.-м.н., профессор, Республика Казахстан
- Бектемысова Г. У., к.т.н., ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Бельгибаев Б.А., д.т.н., доцент, Республика Казахстан
- Галбаев Ж., д.т.н., профессор, Республика Кыргызстан
- Гусев О. И. к.ф.-м.н., Россия
- Дарибаев Б. С., Ph.D, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Дженалиев М.Т., д.ф.-м.н., профессор, Республика Казахстан
- Евтушенко Ю.Г., д.ф.-м.н., академик РАН, Россия
- Жартыбаева, М. Г., Ph.D, Республика Казахстан
- Жукабаева Т.К., PhD, Республика Казахстан
- Искаков К.Т., д.ф.-м.н., профессор, Республика Казахстан
- Исмаилов Б.И., д.т.н., профессор, Республика Кыргызстан
- Ишанходжаев Г., д.т.н., профессор, Республика Узбекистан
- Калижанова А.У., к.ф.-м.н., профессор, Республика Казахстан
- Калинин А.А., PhD, доцент, Республика Казахстан
- Капалова Н.А., к.т.н., ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Карюкин В.И., Ph.D, Республика Казахстан
- Киселева О.В., к.т.н., ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Козбакова А. Х., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Кошеков К.Т., д.т.н., профессор, академик НАН РК
- Крак Ю.В., д.ф.-м.н., профессор, член корр., НАН Украины
- Лисневский Р., Ph.D, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Мазаков Т.Ж., д.ф.- м.н., профессор, Республика Казахстан
- Малышкин Виктор, д.т.н., профессор, Россия
- Мальцева С.В., д.т.н., профессор, Россия
- Марченко М.А., д.т.н., профессор, Россия
- Матерухин А.В., д.т.н., профессор, Россия
- Медведев С.Б., д.ф.-м.н., Россия

- Мусабаев Р.Р., к.т.н., ассоц. профессор Республика Казахстан
- Мусиралиева Ш.Ж., к.ф.-м.н. доцент, Республика Казахстан
- Мустафин С.А., к.т.н., доцент, Республика Казахстан
- Муханова А.А., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Найзабаева Л.К., д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Омаров Б. С., PhD, Республика Казахстан
- Пак А.А., к.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Пак И.Т., д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Панков П., член- корр. НАН КР, профессор, Республика Кыргызстан
- Пестунов И.А. к.ф.-м.н., Россия
- Посыпкин М.А., чл.-корр. РАН, Россия
- Родионов А.С., д.т.н., профессор, Россия
- Рылов С. А., к.т.н., Россия
- Рыспаев А., доцент, Республика Кыргызстан
- Сакан К.С., PhD, Республика Казахстан
- Самигулина Г.А., д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Сатыбалдина Д. Ж., к.ф.-м. н, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Сейлова Н.А., к.т.н., ассоц. профессор, Республика Казахстан

- Сейткулов Е. Н., к.ф.-м. н, ассоц. профессор, Республика Казахстан

- Сембиев О.З., д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Ташатов Н.Н., к.ф.-м.н., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Торобеков Б., д.т.н., профессор, Республика Кыргызстан
- Тузиков А.В., д.т.н., профессор, член корр., НАН, Беларусь
- Тукеев У.А., д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Тусупова С. А., д.т.н., профессор, Республика Казахстан
- Тұрдалыұлы М., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Утегенова А.У., PhD, Республика Казахстан
- Хомпыш А., PhD, Республика Казахстан
- Шормакова А.Н., PhD, Республика Казахстан
- Юничева Н.Р., к.т.н., доцент, Республика Казахстан

Ученые секретари конференции:

- Аршидинова М.Т., PhD, Республика Казахстан
- Сарсембаева Т.С., Республика Казахстан

Организационный комитет

Сопредседатели:

- Усатова О.А., PhD, ассоц. профессор, Республика Казахстан
- Мансурова М.Е., к.ф.-м.н., профессор Республика Казахстан

Члены Организационного комитета:

- Аспантаев А.Б., Республика Казахстан
- Варенников А.В., Республика Казахстан
- Дюсембаев Д., Республика Казахстан
- Жумабекова А.Т., Республика Казахстан
- Калиева Г.С., Республика Казахстан
- Лизунов О.А., Республика Казахстан
- Мауленова А. Республика Казахстан
- Меркебаев А.Г., Республика Казахстан
- Ткачев К.В., Россия
- Толеу А., Республика Казахстан
- Шахмаев Р.А., Республика Казахстан

Место проведения:

Казахский национальный университет имени аль-Фараби и
Институт информационных и вычислительных технологий
КН МНВО РК

Республика Казахстан, г. Алматы, проспект аль-Фараби, 71/23,
тел.: +7 7083542165, +7 707 933 88 90,
+7 708 961 48 78, +7 707 240 75 01

Дорогие друзья, уважаемые коллеги, организаторы и участники IX международной научно-практической конференции «Информатика и прикладная математика»

По времени проведения конференция совпадает с одной важной датой — 90-летием нашего с вами вуза, КазНУ им. аль-Фараби. Прежде всего, разрешите мне поздравить коллектив университета с Юбилеем, и поблагодарить за большой вклад в развитие научно-педагогической деятельности и подготовку высококвалифицированных специалистов. Развитие университетской науки и образования всё теснее увязывается с приоритетами нашей страны, который был образован в далеком 1934 году. Сегодня университет — старейший и крупнейший вуз нашей страны. Мы все видим, как стремительно меняется мир. Это закономерный процесс, и он требует глубокого изучения. Значительная роль здесь принадлежит молодежи, студенчеству. В стенах родного вуза вы приобретаете чувство ответственности за судьбу Родины, творческое мышление, знания и профессионализм.

Сегодня мы собрались обсудить актуальные проблемы высшей школы, которая стремится обрести новое лицо в условиях информационного общества. Глобализация в экономике, сложные политические процессы в мире, социокультурные трансформации – таковым предстал перед человечеством XXI век у своих истоков. Уже сегодня всем ясно, что развитие нашей страны невозможно без существенного продвижения вперед в деле образования и науки. Век науки, знаний и высоких технологий немыслим без становления нового качества высшего образования. Здесь необходимы совместные усилия всех, кто связан с образовательной сферой, для преодоления еще имеющегося в обществе непонимания новой ситуации, когда отставание в образовании и науке означает оттеснение нашей страны на обочину истории.

Проведение наших ежегодных встреч стало хорошей традицией. С каждым годом растет число участников конференции, повышается качество их выступлений и публикаций. Традиционно в работе конференций участвуют ученые и специалисты из России, Кыргызстана, Узбекистана, Украины, США, Финляндии, Италии, Германии, Польши, Турции, Малайзии, Ирана и других стран. Их заинтересованное участие придает нашему мероприятию международное измерение. Целью нашего мероприятия является обмен опытом по новейшим достижениям в области информатики, информационных и вычислительных технологий. Наращивание потенциала отечественной науки, эффективное использование результатов исследований и ускоренное внедрение их в практику - важнейшие приоритеты государственной политики. Особенно важно, что в эту работу включены талантливые студенты и молодые ученые, призванные определять не только настоящее, но и будущее казахстанской и мировой науки, всего нашего общества.

Уважаемые участники и организаторы конференции, молодые учёные и специалисты позвольте выразить Вам глубокую благодарность за участие в нашей конференции, за её поддержку и развитие.

Выражаю уверенность в сохранении и преумножении сложившихся отношений и надеюсь на наше дальнейшее сотрудничество.

Я хочу пожелать Вам плодотворной работы и, чтобы идеи, которые высказывались на конференции, затем претворялись в жизнь. Это чрезвычайно важно не только для ученых, которые уже состоялись, которые развиваются, но еще более важно для ученых, студентов и вообще для молодежи. Поэтому хорошего Вам настроения и продуктивной работы.

Председатель Программного комитета,
академик НАН РК **М.Н. Калимолдаев**

СЕКЦИЯ 1

Қолданбалы математика, информатика және басқару теориясының заманауи мәселелері: күрделі жүйелер мен бизнес-процестерді модельдеу және оңтайландыру

Современные проблемы прикладной математики, информатики и теории управления: Моделирование и оптимизация сложных систем и бизнес-процессов

Modern problems of applied mathematics, computer science and management theory: Modeling and optimization of complex systems and business processes

ON FIXED POINT THEOREMS FOR GENERALIZED CONTRACTIONS

ALI FARAJZADEH[1], ELMAN HAZAR[2]

[1]Department of mathematics, Razi universty, Kermanshah, Iran
[2]Department of mathematics, Igdir university, Igdir, Turkey
E-mail address:farajzadehali@gmail.com,A.Farajzadeh@razi.ac.ir, elman.hazar@igdir.edu.tr

Abstract. *In this paper, a generalized contraction in metric sets is introduced. Then by using it some existence fixed point theorems are established. The main theorems of this article, extend and improve the corresponding results published in this area.*

Keywords: *Closed graph mapping, Fixed point, Contractive iterate.*

1. Introduction

Let (X,d) be a metric space and $T:X\to X$ be a mapping satisfies the condition.

$$d(Ty,Tx)\le kd(y,x),\forall x,y\in X,$$

where $k\in$ ¿.

Banach [1] proved that if X be a complete metric space, then T has a unique fixed point u and for each $x\in X$, the iteration $\{T^n(x)\}$ converges to u. In [3] the author presented the following definition which is a weak form of the Banach,s contraction.

Definition 1.1. *Let (X,d) be a metric space and $T:X\to X$ be a mapping. T is called contractive iterate mapping if there exists positive number $k<1$ such that, for each $x\in X$, there is positive integer $n(x)$so that*

$$d(T^{n(x)}(y),T^{n(x)}(x))\le kd(y,x),\ \textit{for all } y\in X.$$

It is obvious that every Banach contraction mapping is a contractive iterate mapping while the simple example $T(x)=1$if x is rational and $T(x)=0$ if x is irrational, shows that the converse may fail. It is remarkable that if T^nhas unique fixed point x for some n then T also has the unique fixed point x and conversely. Therefore, one can sometimes work with contraction for T^n instead of T or creating suitable conditions which under them that the T^n has unique fixed point, for some n.

Theorem 1.2. [3] Let (X,d) be a complete metric space and $T:X\to X$ be a contractive iterate mapping. If T is continuous, then T has a unique fixed point u and each iteration $\{T^n(x)\}$ converges to u, for each $x\in X$.

It is a natural question that if T is a contractive iterate mapping defined on the complete metric space X with unique fixed point u that each iteration $\{T^n(x)\}$ converges to u, for each $x \in X$, then is T always continuous?

The answer is negative, because if we take $T(x) = 1$ if x is rational and $T(x) = 0$ if x is irrational, then T is contractive iterative, note $T^2 = 1$, and the unique fixed point is $u = 1$ and each iteration converges to u but T is not continuous.

We introduce the following definition which is a slightly improvement of the contractive iterate.

Definition 1.3. *Let (X,d) be a metric space and $T: X \to X$ a mapping. We say that T is pointwise contractive iterate if for each $x \in X$, there exists $k(x) \in$ ¿ and positive integer $n(x)$ such that $d(T^{n(x)}(y), T^{n(x)}(x)) \le k(x)d(y,x)$, for all $y \in X$.*

Definition 1.4. [2] *A mapping $T: C \to C$ is said to be pointwise asymptotically nonexpansive if for each $x \in C$ there exist $N(x) \in N$ and a real sequence $\alpha_n(x)$ such that if $n \ge N(x)$*

$$\| T^n(x) - T^n y \| \le \alpha_n(x) \| x - y \| \text{ for all } y \in C,$$

where $\lim$ ¿$_{n \to \infty} \alpha_n(x) = 1.$¿

Main Results

Theorem 2.1. *Let (X,d) be a complete metric space and $T: X \to X$ be a pointwise contractive mapping such that for any $\{x_n\} \subset X$ with $\sum_{n=1}^{\infty} \prod_{i=1}^{n} k(x_i) < \infty$ and $k(x_i)$ satisfies in Definition 1.3. If T is closed mapping, then T has a unique fixed point u and each iteration $\{T^n(x)\}$ converges to u.*

Before proving the theorem, we need the following lemma. The proof is similar to the proof given in [3].

Lemma 2.2. *Let (X,d) be a metric space and $T: X \to X$ be a pointwise contractive mapping. If $x \in X$, then $r(x) = \{d(T^n(x), x) : n \in N\}$ is finite.*

Proof of Theorem 2.1. Let $x_0=x\in X$ be an arbitrary. Let $m_0=n(x_0)$ such that $d(T^{m_0}(y),T^{m_0}(x_0))\le k(x_0)d(y,x_0),\ \forall y\in X$, and put $x_1=T^{m_0}(x_0)$ and there exists $m_1=n(x_1)$ and $k(x_1)$,

$$d(T^{m_1}(y),T^{m_1}(x_1)\le k(x_1)d(y,x_1),\forall y\in X.$$

and inductively $m_i=n(x_i), x_{i+1}=T^{m_i}(x_i)$. We prove that $\{x_n\}$ is a cauchy sequence. First

$$d(x_{n+1},x_n)=d\left(T^{m_n}(x_n),T^{m_{n-1}}(x_{n-1})\right)=d\left(T^{m_{n-1}}\left(T^{m_n}(x_{n-1})\right),T^{m_{n-1}}(x_{n-1})\right)\le k(x_{n-1})d(T^{m_n}(x_{n-1}),x_{n-1})\le\ldots\le k(x_{n-}$$

Hence it follows from triangle inequality and Lemma 2.2 that

$$d(x_m,x_n)\le\sum_{j=n}^{m-1}d(x_{j+1},x_j)\le\left(\sum_{j=n}^{m}\prod_{i=0}^{j-1}k(x_i)\right)d(T^{m_n}(x_0),x_0)\le\left(\sum_{j=n}^{m}\prod_{i=0}^{j-1}k(x_j)\right)r(x_0)$$

and so the sequence x_n is a cauchy sequence (note that $\left(\sum_{j=n}^{m}\prod_{i=0}^{j-1}k(x_j)\right)$ is a cauchy sequence, because by our hypotheses the series $\sum_{j=n}^{\infty}\prod_{i=0}^{j-1}k(x_j)$ is convergent). Then, it follows from the completeness of X that there exists $u\in X$ so that $x_n\to u$. We claim that $T(u)=u$. By using the inequalities

$$d(T(x_n),x_n)=¿d(T^{m_n-1}(T(x_{n-1})),T^{m_n-1}(x_{n-1}))\le k(x_{n-1})d(T(x_{n-1}),x_{n-1})\ldots\le\left(\prod_{i=0}^{n-1}k(x_i)\right)d(T(x_0),x_0)$$
¿

we inform that $d(x_n,u)\to 0$ and $d(T(x_n),x_n)\to 0$, that $d(T(x_n),u)\to 0$. Then, since $(x_n,T(x_n))\in G_rT$ (the graph of T)) and G_rT is closed, we obtain $(u,u)\in G_rT$. This means $T(u)=u$.

For proving the uniqueness of the fixed point for T if $T(u_1)=u_1$ and $T(u_2)=u_2$ then there exists natural number $n(u_1)$ and positive number $k(u_1)<1$ such that

$$d(T^{n(u_1)}(y),T^{n(u_1)}(u_1))\le k(u_1)d(y,u_1),\forall y\in X.$$

By taking $y=u_2$ in the previous inequality and using the equalities $T(u_1)=u_1, T(u_2)=u_2$ we get

$$d(u_2,u_1)\le k(u_1)d(u_2,u_1)$$

and so it follows from $k(u_1)<1$ that $u_1=u_2$. If x is an arbitrary element of X, then there exist a positive integer $n(u)$ (u is the unique fixed point) and positive number $k(u)<1$ such that

$$d(T^{n(u)}(y),T^{n(u)}(u))\leq k(u)d(y,u),\forall y\in X.$$

If n is a positive integer greater than $n(u)$ then there exists positive integer s with $.n(u)\leq n<(s+1)n(u)$. Hence, it follows the pointwise contractivity of T and Lemma 2.2 that

$$\begin{aligned} d(T^n(x),u=T^{n(u)}(u))\leq & \quad k(u)d(T^{n-n(u)}(x),u=T^{n(u)}(u)) \\ \leq & \quad (k(u))^2 d(T^{n-2n(u)}(x),u=T^{n(u)}(u)) \\ \leq & \quad \ldots\leq(k(u))^s d(T^{n-s.n(u)}(x),u)\leq(k(u))^s r(u). \end{aligned}$$

Now if n approaches to infinity then s is also converges to infinity and the last inequality (because $0<k(u)<1$) implies that $d(T^n(x),u)$ converges to zero. This means $T^n(x)\to u$ and the proof is completed.

The following example shows that Theorem 2.1 is a real improvement of Theorem 1.2 given in [3].

Example 2.3. Let $X=R$ and $T:X\to X$ be defined by

$$T(x)=\begin{cases} \frac{1}{2} & x\leq 1 \\ \frac{1}{1-x} & x>1 \end{cases}$$

It is obvious that T is not continuous at $x=1$, but its graph is closed. Moreover $T^2(x)=\frac{1}{2}$, $\forall x\in X$. Hence it satisfies all the assumptions of the previous theorem and the unique fixed point is $x=\frac{1}{2}$. But we can not apply theorem [3] for it.

Example 2.4. Let the space $X=¿$ and $d(x,y)=¿x-y\vee¿$ for any $x,y\in X$ be the usual distance on X. Define a map $T:X\to X$ by

$$T(x)=¿$$

Therefore T is closed and pointwise contractive mapping. Hence the condition of Theorem 2.1 is satisfied. Also T has a unique fixed point 0, and $\{T^n(x)\}$ converges to 0.

References

[1] S. Banach, Sur les operations dans les ensembles abstraits et leur application aux

equations integrales, Fundamenta Mathematicae, 3 (1922), 133–181.

[2] W.A. Kirk, Remarks on nonexpansive mappings and related asymptotic conditions, J. Nonlinear Convex Anal. 18, no. 1 (2017), 1-15.

[3] V. M. Sehgal, A fixed point theorem for mappings with a contractive iterate, American Mathematical Society, 23(3) (1969), 631–634.

Department of mathematic, Razi university, Kermanshah, Iran, Department of mathematics, Igdir university, Igdir, Turkey, farajzadehali@gmail.com, A.Farajzadeh@razi.ac.ir, elman.hazar@igdir.edu.tr

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВУЗОВ

Азимова А.А., Торобеков Б.Т., Жамгырчиева Г.
Ошский технологический университет им. М.М. Адышева,
Ош, Кыргызская Республика
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова,
Бишкек, Кыргызская Республика
Кыргызский национальный аграрный университет им. К. Скрябина,
Бишкек, Кыргызская Республика
Alima_kg75@mail.ru, bekjan2003@mail.ru, jgulmira2011@mail.ru

***Аннотация**. Статья посвящена развитию системы мониторинга вузов на основе моделирования его бизнес-процессов. Приведены целевые функции, регламентные задачи и особенности проведения мониторинга вузов. Обоснованы и описаны методологические основы формирования системы оценочных показателей мониторинга. Раскрываются основные подходы к разработке метода системы мониторинга вузов. Проанализированы и приведены основные бизнес-процессы мониторинга вузов. Приведено описание моделирования системы мониторинга вузов. Разработаны и представлены схемы функциональной модели системы мониторинга образования вузов. Предложена модель системы мониторинга образовательного процесса вуза. Приведены результаты моделирования мониторинга вузов на примере конкретного вуза.*

Введение. Мониторинг вуза имеет целью осуществление постоянного наблюдения (диагностики) и оценки за образовательными бизнес-процессами и их результатами и будет способствовать осуществлению работ по комплексному анализу и объективной оценке результатов деятельности вуза и его структурных подразделений, создать базу данных реализации бизнес-процессов образования. В соответствии с миссией и функционалом деятельности вузы призваны обеспечить эффективность результатов деятельности на основе объективных инструментов и процедур образовательной деятельности, содержание и алгоритм которых базируются на соответствующей методологии.

Мониторинг образования вузов как инструмент исследования состояния и обеспечения эффективности образовательной деятельности вузов осуществляется реализацией соответствующих оценочных бизнес-процессов согласно установленных процедур. В этой связи методика проведения мониторинга предусматривает разработку соответствующих регламентов, требований по организации и подведению итогов мониторинга, а также разработке рекомендаций.

Таким образом мониторинг образовательного процесса представляет собой многогранный бизнес-процесс, что характеризуется структурными (организационными) элементами и непосредственными оценочными процедурами (действиями) согласно установленных этапов реализации программы мониторинга.

Целью исследования является создание эффективной системы мониторинга образовательного процесса на основе информационной системы, обеспечивающей автоматизированную оценку эффективности результатов образовательного процесса вузов.

Постановка задачи. Для обеспечения эффективности результатов деятельности вузов необходимо создание комплексной системы анализа, контроля и оценки состояния параметров учебного процесса, что может быть достигнуто при оптимальных уровнях обеспеченности и использования ресурсных и инфраструктурных параметров его составляющих, которая требует разработки соответствующего инструментария. В этой связи для достижения целевых задач необходимо провести анализ и выбор ключевых показателей эффективности образовательного процесса, разработать модель системы мониторинга образования в вузах, обосновывать методологические основы ее формирования на основе информационных систем.

Результаты исследования. В целях комплексного учетах всех аспектов формирования методики, полного представления и описания ее составляющих, системного определения условий и порядка реализации, а также обеспечения доступа для практического применения в исследовании используется концептуальное представление методики в виде формата. При этом формат ориентирует на логическое раскрытие назначения и содержания мониторинга образовательного процесса в вузе, а также определяет его структуру во взаимосвязи с составляющими. Данный подход позволит системно определить структурных составляющих (компонентов) мониторинга, установить их взаимосвязей и последовательность реализации, сформировать понятийный и инструментальный аппарат, а также предусмотреть информационно-методические сопровождение.

Нами сформирован набор показателей мониторинга образования вузов по соответствующим критериям. На основе экспертных оценок выбраны оценочных 6 критериев, которые характеризуются соответствующими 20 показателями мониторинга образования

В соответствии с методами системного анализа остановимся на основных этапах рассматриваемой проблемы.

Для постановки задачи необходимо проанализировать состояние проблемы и определить цель и задачи исследования и критерии изучаемых бизнес-процессов.

В моделировании бизнес-процессов большое значение придается описанию характеристики рассматриваемой системы и анализа ее структуры.

Далее приступим к моделированию системы.

Целевую задачу систему формализуем в следующем виде:

$$Z_j = f \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{x_{ij}^{\Phi}}{x_{ij}^{H}} \right) \rightarrow \max \qquad (1)$$

где Z_j – функция эффективности вузов, определяемая уровнем мониторинга;

x_{ij}^{Φ} - фактические уровни i-показателя j-объекта мониторинга;

x_{ij}^{H} - нормативные стандартные уровни i-показателя j-объекта мониторинга;

i…n - показатели рассматриваемых (установленных) показателя мониторинга;

j…m - объекты мониторинга.

В соответствии с представленной целевой функцией эффективность результатов деятельности вузов по результатам мониторинга будет обеспечен при максимальных уровнях фактических значений показателей системы оценки мониторинга, соотнесенные к нормативным (стандартным) критериям.

В теории управления образовательными системами мониторинг по оценке результатов образовательного процесса рассматривается как реализация (выполнение) деловых (бизнес) - процессов вузов согласно установленных процедур для определения соответствия предоставляемого образования требованиям потребителей образовательных услуг и соответствующих стандартов на основе оценочной процедуры деятельности вузов и результатов, реализуемых ими образовательных программ [2, с. 203].

Управление по проведению мониторинга образовательного процесса может быть представлено в виде теоретико-множественной модели, отражающей соответствующую совокупность составляющих. Каждое из множеств, входящих в модель, может быть представлено в виде набора элементов, связей, характеристик и совокупностей.

Для моделирования и формализованного описания модели системы мониторинга образования вузов предлагается теоретико-множественный подход, описательные характеристики которого близки к семантическим представлениям пользователя.

Приводим обоснование и аргументы реализации модели на примере описания ее элементов (составляющих).

Верхний уровень модели системы мониторинга описывается кортежем:

$$M_o = < O, I, D, F>, \quad (2)$$

где O – объект мониторинга, в т.ч. включая предметную область мониторинга и заинтересованных лиц в результатах мониторинга;

I – инфраструктура системы мониторинга образования, что включает программно-аналитическую часть и организационно-управленческие составляющие системы мониторинга;

D – исходные данные и итоги процедур мониторинга, которые составляют информационную поддержку мониторинга;

F – взаимосвязи между составляющими системы мониторинга в модели.

Переходим к анализу модели на основе декомпозиции составляющих модели. Объект мониторинга вузов описывается кортежом,

$$O = <GA, GO, GT>, \quad (3)$$

где: $GA = \{ga_1, \dots, ga_{NGA}\}$ – множество участников (акторов), каждый из которых является субъектом мониторинга образовательной деятельностью вузов и заинтересован в получении некоторого подмножества аналитических результатов системы мониторинга $\{ia_{k1}, \dots, i_{akn}\}$ в рамках своих процедур принятия решений. В этих целях каждый участник (актор) формирует в системе мониторинга множество задач $\{gt_{k1}, \dots, gt_{kn}\}$. К таким акторам относятся: мониторинговые структуры и организации, государственные органы управления образованием, вузы, образовательные подразделения и др.;

$GO = \{go_1, \dots, go_{NGO}\}$ – множество объектов мониторинга, образования (вузы и обьекты образовательной деятельности), а также результаты этой деятельности в соответствующих публикациях, отчетах и формах;

Мониторинг проводится с установленными целями и задачами, в связи с чем в модель включается компонент GT, который учитывает цель и задачи системы мониторинга.

$GT = \{gt_1, \dots, gt_{NGT}\}$ – множество цели и задач мониторинга образования, каждая из которых формулируются в области критериев обеспечения эффективности образовательного процесса. В нашем исследовании к критериям относятся:

- обеспечение привлекательности образования для потребителей;
- реализация инновационных образовательных программ;
- соответствие формы и содержания образовательного процесса стандартным требованиям;
- интеграция науки и образования;
- международная интеграция;
- позиционирование образования и признание потребителей.

Инфраструктуру модели системы мониторинга представляет следующий кортеж:

$$I = <IS, IR>, \quad (4)$$

где, $IS = \{is_1, \dots, is_{NIS}\}$ – множество источников, содержащих исходные данные о состоянии объектов мониторинга GO или результатах их образовательной деятельности; Для мониторинговых исследований из объектов мониторинга будут анализированы такие данные: контингент обучающихся, штат ППС и его качественная характеристика, количество реализуемых образовательных программ, инфраструктурное обеспечение,

публикационная активность, мобильности студентов и ППС, интернационализация образования.

IR = {ir_1, … , ir_{NIS}} – множество реестров данных системы, содержащих копии исходных сведений, полученных из внешних источников, относящихся к объектам мониторинга GO. В данной работе из внешних источников будут введены: средний балл ОРТ, поступивших на 1 курс студентов, доля трудоустройства выпускников, позиции вуза в мировых и национальной рейтинговых системах, импакт-фактор научного журнала.

Материалы, собранные из источников информации необходимо систематизировать, анализировать и обработать. Данные операции реализуются согласно установленных методов и алгоритмов, а также на основе программного обеспечения.

При этом информационное обеспечение порядка представления результатов мониторинга на базе исходных и расчетных данных потребителям (субъектам, объектам надзорным структурам). Данное условие учитывается компонентом

$$D = <IA, FH, FC>, \quad (5)$$

где, IA={ia_1, … , ia_{NGT}} – множество аналитических оценок состояния и использования каждый из которых выступает решением соответствующей задачи из множества GT и передается актору ga_x, сформировавшему эту задачу;

FH = {fh_1, … , fh_{NIS} | fh_j : is_j → ir_j } – множество функций, каждая из которых осуществляет сбор данных из внешних источников is_j и преобразует их в соответствующий реестр данных ir_j;

FC = {fc_1, … , fc_{NFC} | fc_j : ir_{j1} → ii_{j2}} – множество функций, каждая из которых на основании некоторого реестра данных ir_{j1} вычисляет массив показателей ii_{j2}.

Компонент, обеспечивающий взаимосвязи между составляющими модели с применением методов управления для подведения итогов и разработки рекомендаций описывается множеством F:

$$F = <II, FA>, \quad (6)$$

где, II = {ii_1, … , ii_{NII}} – множество массивов показателей, каждый из которых в системе мониторинга является агрегированным представлением о состоянии или результатах образовательной деятельности некоторого объекта мониторинга go_z. В соответствии с результатами экспериментальных исследований в расчетах используется система показателей мониторинга в составе 20 наименований, перечень которой приведена в разделе 3.3.

FA={fa_1, … , fa_{NF1}| fa_j : {ii_{j1}, … , ii_{jn}} → ia_j }- множество функций, каждая из которых на основании некоторого подмножества массивов показателей осуществляет определение итогового уровня мониторинга.

После раскрытия сути верхнего уровня модели системы мониторинга (формула 4.1.) синтаксически модель мониторинга образования представляется кортежем.

$$M = <GA, GO, GT, IS, IR, II, IA, FH, FC, FA> \quad (7)$$

Схематическая форма теоретико-множественной модели системы мониторинга по рис.1. В концептуальной модели отражены назначение элементов этой модели, их семантические и функциональные взаимосвязи. Выделены три семантических слоя, объединяющих группы логически близких задач:

После декомпозиции модели мониторинга основную функцию системы мониторинга результативности образовательной деятельности можно представить и виде

суперпозиции функций FA, FC^n, FH^n, которая элементу из пространства GA x GO x IS^n сопоставляет аналитический результат мониторинга ia_j:

$$fa_j \cdot (fc_1 \cdot fh_1, \ldots, fc_n \cdot fh_n) : GA \times GO \times IS^n \rightarrow IA. \quad (8)$$

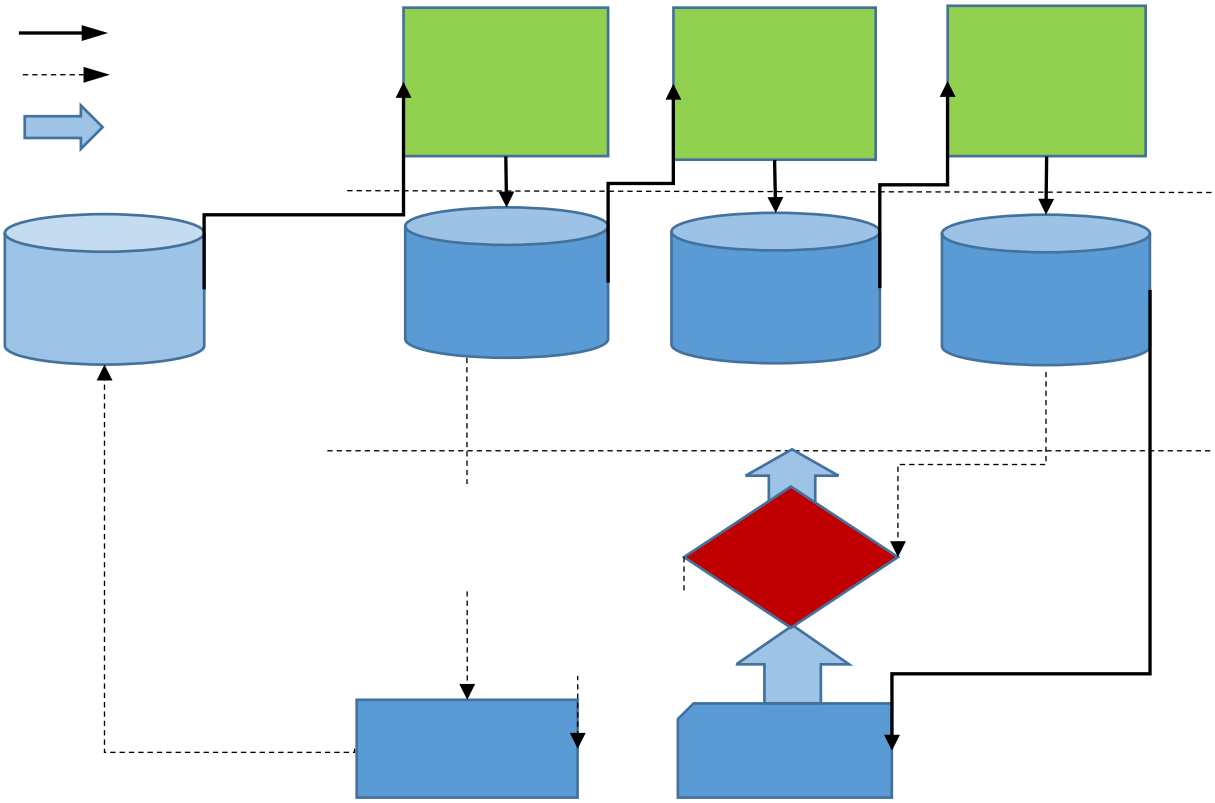


Рисунок 1. Концептуальная модель системы мониторинга образования вузов

Взаимосвязь компонентов теоретико-множественной модели системы мониторинга образовательной деятельности и элементов разработанной методики показана в таблице 1.

Описание элементов объектно-множественной модели системы мониторинга образования

Таблица 1.

Компоненты множества	Состав множества	№ элементов в методике мониторинга	Наименование элементов методики
O	GA	2.4	Субъект мониторинга
	GO	2.4	Объект и предмет мониторинга
	GT	1.1, 2.1, 2.2	Методологическая часть, цели и задачи мониторинга
I	IS	1.2, 2.3, 2.5	Методическая часть, параметры и источники информации, сроки мониторинга
	IR	1.2, 2.6, 2.7	Методологическая часть, параметры, показатели, критерии мониторинга, методы мониторинга,
D	IA	1.2, 2.8	Методологическая часть, методы сбора, обработки и анализа

			информации
	FH	1.3, 2.9	Актуализация процедур и подведение итогов, инструментарий мониторинга
	FC	1.3, 2.10	Актуализация процедур и подведение итогов, обработка и анализ информации, подведение итогов
F	II	1.3, 2.11	Актуализация процедур и подведение итогов, отчетные данные
	FA	2.12	Эффективность проведения мониторинга

Результатом моделирования является совокупность составляющих информационной системы мониторинга образования вузов. При этом помимо качественных описаний компонентов модели, конечным итогом функционирования модели является определение количественного уровня мониторинга образования. Для этих целей в модели включены такие составляющие как ii, что определяет необходимый перечень оценочных показателей эффективности образовательного процесса, имеющие фактические значения и нормативные уровни.

Для определения итогового уровня мониторинга образования на основе агрегирования индивидуальных показателей, что насчитывает 20 наименований в работе в модели предусмотрен компонент FC, обеспечивающий вычислительные операции.

Формат и составляющие модели были сформированы на основе разработанной методики мониторинга образовательного процесса вуза.

Перечень составляющих синтаксической модели мониторинга в образовании включенных в формулу 7, строго соответствует основным элементам и этапам мониторинга, которые включены в форму методики мониторинга образовательного процесса вуза.

Итоговый (интегральный) уровень мониторинга образовательного процесса вуза определяется:

$$FA = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_{ij}^{\Phi}}{x_{ij}^{H}} \quad , \qquad (9)$$

где, x_{ij}^{Φ} - фактические уровни i-показателя j-объекта мониторинга;

x_{ij}^{H} - нормативные стандартные уровни i-показателя j-объекта мониторинга;

i…n - показатели рассматриваемых (установленных) показателя мониторинга;

j…m - объекты мониторинга.

Разработанная модель системы мониторинга образовательного процесса будет концептуальной основой для формирования единого понимания ее целей и задач, обобщения интересов различных заинтересованных сторон, участвующих в управлении образовательного процесса и интегрированных в систему мониторинга образования. Реализация данной модели будет обеспечивать информационно-аналитическую поддержку участников (акторов) в задачах обеспечения эффективности управления образовательной деятельности и совершенствованию сопровождения анализа учебной инфраструктуры.

Таким образом, разработанная модель определяет структуру моделируемой системы мониторинга образования, характеристики ее составляющих, причинно-следственные отношения, присущие системе и планируемые для достижения цели моделирования.

Информационная система строится на основе баз данных документов и оперативных баз данных, а также отчетных и учетных баз данных образовательного процесса вуза. При этом с использованием схемы функционирования информационных потоков, функциональных взаимодействий с внутренними и внешними участниками образовательного процесса будет строиться модель функционирования информационной системы мониторинга образования вузов.

По результатам исследования и обобщения имеющихся практик разработан алгоритм формирования системы мониторинга образовательного процесса вузов (рис. 1).

Согласно алгоритму процессов мониторинга вузов, предпосылками его проведения являются законодательные регламенты и институциональные локальные планы мероприятий, которые имеют соответствующие объекты мониторинга. Для учета внешних и внутренних вызовов образовательной системы и обеспечения требований и потребностей образовательных услуг необходимо предусмотреть актуализации условий регуляторов образования в процессах мониторинга.

Мониторингу вузов свойственны проведение процедур по установленной программе в установленные сроки в конкретных объектах согласно утвержденных порядков и требований. Этой связи алгоритм предусматривает установление объектов, субъектов и предметов мониторинга. Объектами мониторинга являются направления деятельности вузов с соответствующими показателями [3, с.1374; 4, с.13].

Техническая и информационная часть мониторинга связана со сбором, обработкой, анализом и хранением базы данных, что сравниваются с нормативными показателями. Результаты сравнительной оценки принимаются за основу при подведении итогов мониторинга, принятии рекомендаций и заключения экспертной оценки [3, с.1374; 4, с.12].

Для построения бизнес-процессов необходимо построить структурно-функциональную модель, что обеспечит эффективность выполнения операций, анализируя текущие бизнес-операции через действенные инструменты моделирования, приводим описание построения структурно-функциональной модели.

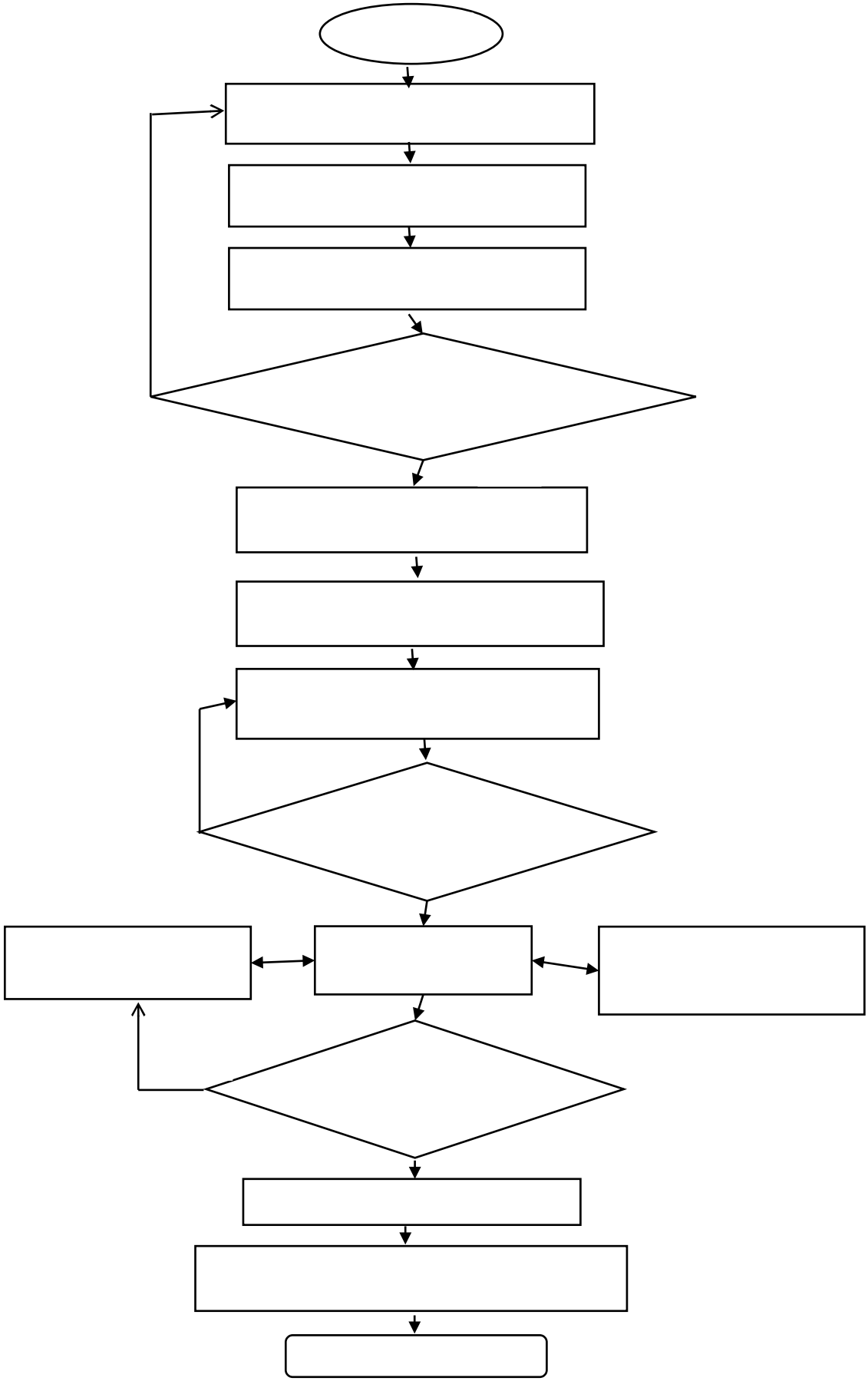
При проектировании информационной системы необходимо разработать ее функциональную модель [5, с. 193; 6, с. 76; 7, с. 3]. Разработка системы осуществляется методологией IDEF0, который применяется для моделирования широкого класса систем. На рис. 2 приведена контекстная диаграмма ИС мониторинга образования вузов.

Согласно алгоритму процессов мониторинга вузов, предпосылками его проведения являются законодательные регламенты и институциональные локальные планы мероприятий, которые имеют соответствующие объекты мониторинга. Для учета внешних и внутренних вызовов образовательной системы и обеспечения требований и потребностей образовательных услуг необходимо предусмотреть актуализации условий регуляторов образования в процессах мониторинга.

Мониторингу вузов свойственны проведение процедур по установленной программе в установленные сроки в конкретных объектах согласно утвержденных порядков и требований. Этой связи алгоритм предусматривает установление объектов, субъектов и предметов мониторинга. Объектами мониторинга являются направления деятельности вузов с соответствующими показателями [3, с.1374; 4, с.13].

Техническая и информационная часть мониторинга связана со сбором, обработкой, анализом и хранением базы данных, что сравниваются с нормативными показателями. Результаты сравнительной оценки принимаются за основу при подведении итогов мониторинга, принятии рекомендаций и заключения экспертной оценки [3, с.1374; 4, с.12].

Для построения бизнес-процессов необходимо построить структурно-функциональную модель, что обеспечит эффективность выполнения операций, анализируя текущие бизнес-операции через действенные инструменты моделирования, приводим описание построения структурно-функциональной модели.



Р
ис. 1. Алгоритм формирования системы мониторинга образования. Источник: составлено автором

При проектировании информационной системы необходимо разработать ее функциональную модель [5, с. 193; 6, с. 76; 7, с. 3]. Разработка системы осуществляется методологией IDEF0, который применяется для моделирования широкого класса систем. На рис. 2 приведена контекстная диаграмма ИС мониторинга образования вузов.

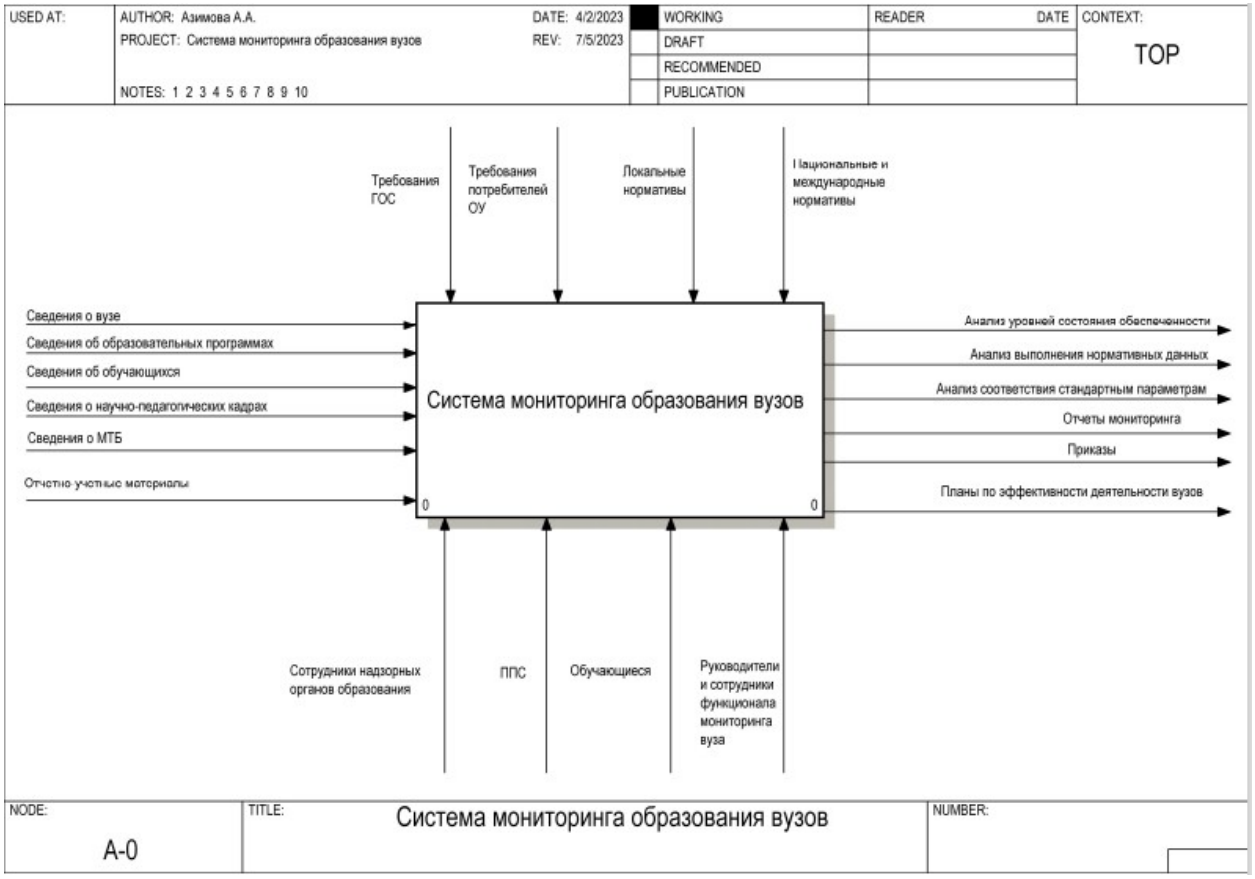


Рисунок 2. Контекстная диаграмма системы мониторинга образования вузов

Разработка модели осуществлялось в среде IntelliJ IDEA на языке программирования JAVA. В целях обеспечения упрощения связей приложения с данными в БД применялось технология Hibernate Entity Framework. В качестве СУБД использовалось средство MySQL , что предлагает удобную работу с БД.

В моделировании данных необходимо разработать концептуальную схему базы данных в форме одной или нескольких логических моделей для отображения в любой СУБД. В этих целях применяют распространенное на практике моделирования данных - диаграмму «сущность-связь» (Entity Relationship Diagram -ERD).

Для реализации интерфейса информационной системы использовалось программное средство WebSharp, входящее в состав продуктов IntelliJ. Для, организации базы данных в качестве сервера выбраны инструменты MySQL 8.3. Особенность этого выбора обусловлена наличием визуальной среды разработки, что предоставляет создавать интерфейсы взаимодействия с пользователем в максимально короткие сроки и обеспечивает легкость в отладке и модификации информационной системы.

Экспериментальные исследования проводились на базе данных Ошского технологического университета им. М. Адышева и Кыргызского государственного университета им. И. Раззакова за 2023-2024 гг.

Приводим отчетные данные по итогам мониторинга указанных университетов. (Табл.2 и 3 данные КГТУ и ОшТУ соответственно).

Данные по всем задачам отсортированные по результатам КГТУ

Таблица 2.

	A	B	C	D
1	Кыргызский Государственный Технический университет им.И.Раззакова 2024			
2	№	Наименование задач эффективности образования	Результат	Резерв
3	1	I. Обеспечение привлекательности образования для потребителей	0.83	
4	3	III. Соответствие формы и содержания образовательного процесса стандартным	0.80	0.22
5	6	VI. Позиционирование образования и признание потребителей	0.76	
6	2	II. Реализация инновационных образовательных программ	0.67	
7	4	IV. Интеграция науки и образования	0.51	
8	5	V. Международная интеграция	0.25	
9		Общий средний показатель	0.58	

Данные по всем задачам отсортированные по результатам ОшТУ

Таблица 3.

	A	B	C	D	E
1	Ошский технологический университет имени М. М. Адышева 2024				
2	№	Наименование задач эффективности образования	Результат	Резерв	
3	3	III. Соответствие формы и содержания образовательного процесса стандартным	0.72	0.18	
4	1	I. Обеспечение привлекательности образования для потребителей	0.64		
5	5	V. Международная интеграция	0.56	1.11	
6	2	II. Реализация инновационных образовательных программ	0.52		
7	6	VI. Позиционирование образования и признание потребителей	0.49		
8	4	IV. Интеграция науки и образования	0.35		
9		Общий средний показатель	0.52		
10					

Заключение. Использование разработанной модели мониторинга позволяет осуществлять функции анализа, оценки, выполнения текущих и стратегических задач, выявлять отстающие направления и разрабатывать рекомендации по повышению эффективности результатов образовательной деятельности вузов.

Литература

1. Торобеков, Т.Б. Модель мониторинга эффективности деятельности вузов [Текст] / Б.Т. Торобеков, А.А. Азимова //Alatoo academic studies, 2023. № 3, С. 161-171.
2. Торобеков, Б.Т. Методологические основы оценки качества высшего образования [Текст]/ Б.Т. Торобеков, А.А. Азимова, К. Риферт //Научный и информационный журнал. - Наука и инновационные технологии, 2020. - №2(15). – С. 201-210.
3. Торобеков, Б.Т. Концептуальная модель мониторинга вузов [Текст] / Б.Т. Торобеков, А.А. Азимова // International Turkic world congress on science and engineering. – Турция, 2022. - С. 1369-1377.
4. Азимова, А.А. Жогорку окуу жайларга мониторинг жүргүзүүнүн концептуалдык модели Текст] / А.А. Азимова // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек, 2022. - №10. – С. 9-13.
5. Часовских, В.П. Модель поддержки мониторинга вузов / В.П. Часовских, В.А. Попов, Л.А. Карасаева. - Россия, 2009. – С. 191-197.
6. Азимова, А.А. Развитие системы мониторинга образования вузов [Текст] / А.А. Азимова, Б.Т. Торобеков, Г.О. Тажигулова, Н.Ж. Жусуева // Проблемы автоматики и управления. - Бишкек, 2023. - С. 72–80, https://pau.imash.kg/index.ph p/pau/article/view/.
7. Проектирование автоматизированной информационной системы мониторинга деятельности образовательных учреждений и предоставления «электронных услуг» в сфере

образования [Текст] / [А.Н. Немцев, А.И. Штифанов, В.А. Беленко и др.] // Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2010. – С. 1-11.

8. *Торобеков, Б.Т.* О разработке системы мониторинга вузов, Актуальные проблемы и тенденции развития современной экономики / Б.Т. Торобеков, А.А. Азимова // Сборник трудов Международной научно-практической конференции, - 2022. - С.431-438., https://elibrary.ru/item.asp?id=50463100.

9. . Овчинкин, О.В. Система внутреннего мониторинга выполнения показателей эффективности деятельности вуза / О.В. Овчинкин, А.И. Пыхтин, С.В. Остроцкая, А.А. Тимошенко // ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». - Курск. – 2019. - № 4. - С. 50-54.

10. Азимова, А.А. Анализ информационных систем мониторинга деятельности вузов / А.А. Азимова // Бюллетень науки и практики. – 2022. - №9 (сентябрь). - С.1-5. https://elibrary.ru/item.asp?id=49450505.

11. Торобеков, Б.Т., Азимова А.А., Основы концепции построения информационной системы мониторинга эффективности деятельности вузов / Б.Т. Торобеков, А.А. Азимова // Бюллетень науки и практики. -2022. - №9 (сентябрь). - С.1-6. https://elibrary.ru/item.asp?id=49450504.

ЧАСТОТНО – ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

[1]В. Вуйцык, [2]Б.Х. Айтчанов, [3]А.С. Тергеусизова
[1]Люблинский технический университет, Люблин, Польша
[2,3]Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан

Аннотация. *В работе получена математическая модель системы автоматического управления температурным режимом процесса вытяжки оптического волокна. Основным регулятором является сигма частотно – импульсный модулятор. Математическая модель получена в виде стохастических дифференциальных уравнений в форме Ланжевена с последующим ее преобразованием в математическую модель в форме Ито. Поведение сигма частотно – импульсной системы автоматического управления температурным режимом процесса вытяжки оптического волокна описывается стохастическими дифференциальными уравнениями Ито. Для численного решения стохастического дифференциального уравнения использован модифицированный метод Эйлера. Для проверки адекватности системы проведено цифровое статистическое моделирование. Раскрыты процедуры экспериментального исследования, выведены оценки математического ожидания и дисперсии. Представлены порядок и результаты экспериментального исследования по проверке адекватности полученной модели исходной системе.*

Ключевые слова: *дифференциальные уравнения в форме Ланжевена, дифференциальные уравнения в виде Ито, модифицированный метод Эйлера, сигма частотно – импульсное управление, вытяжка оптического волокна.*

Введение

Изготовление оптического волокна представляет собой сложный технологический процесс с большим числом управляемых и контролируемых параметров: температуры разогрева стекломассы, скорости подачи стекла в зону нагрева, скорости и усилия вытяжки световода.

Параметры режима вытяжки, задаваемые конкретно для каждой вытягиваемой преформы, а именно, сочетание скорости вытяжки и её натяжения, обеспечивает ту форму зоны перетяжки, при которой складываются заданные характеристики вытягиваемого волокна [1-2]. Основные управляющие факторы — скорость вытяжки и температуры в печи. Стабилизация натяжения осуществляется путем регулирования температуры высокотемпературной печи (ВТП) по величине ошибки контура стабилизации натяжения. Эксплуатационные характеристики вытягиваемого волокна (коэффициент затухания и коэффициент хроматической дисперсии) обеспечиваются точным соблюдением натяжения вытяжки, которое задается конкретным для каждой вытягиваемой преформы и скорости вытяжки, а они в свою очередь обеспечиваются поддержанием необходимой температуры в ВТП [3].

Особенностью технологического процесса вытяжки оптического волокна является наличие существенного запаздывания. Оно определяется временем прохождения вытягиваемого стеклоизделия от зоны формирования до датчика, определяющего размеры поперечного сечения. Наличие запаздывания в технологическом процессе приводит к тому, что сигнал на выходе объекта в течение некоторого времени после изменения входного сигнала остается неизменным. В связи с этим, важной задачей является – увеличение

динамической точности регулирования. Низкая динамическая точность регулирования обусловлена инерционностью объекта регулирования.

Наличие запаздывания является серьезным препятствием при разработке высококачественных и высокоэффективных систем управления технологическим процессом вытяжки оптического волокна.

Как видно из вышеуказанного, задача качественного управления технологическим процессом вытяжки оптического волокна, которое обладает запаздыванием, представляет значительный теоретический и практический интерес.

Для решения задачи управления режимными параметрами процесса вытяжки оптического волокна, наиболее перспективным является применение динамических частотно-импульсных систем автоматического управления [5].

1. Методика исследования

Рассмотрим замкнутую систему автоматического управления с сигма частотно-импульсной модуляцией (рисунок 1), содержащую непрерывную часть, описываемую дифференциальным уравнением со случайными коэффициентами, и модулятор, преобразующий непрерывный сигнал ошибки $x(t)$ в последовательность управляющих импульсов $y^{*}(t)$.

Стохастическая сигма частотно-импульсная система управления объектами с запаздыванием (рисунок 1) состоит из импульсной и непрерывной частей.

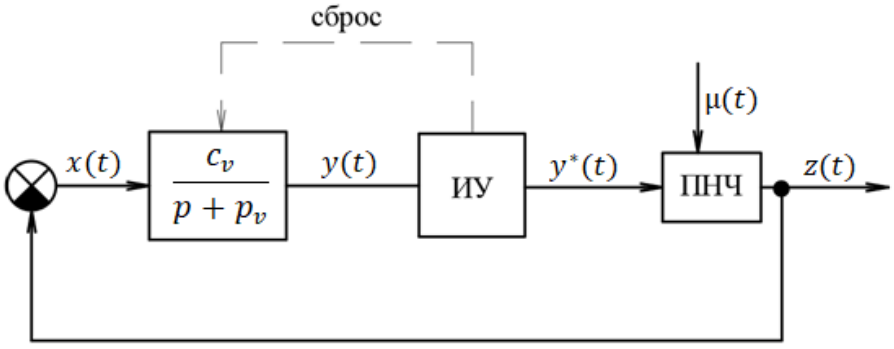


Рис. 1 - Σ-частотно-импульсная система управления объектами с запаздыванием

Импульсной частью служит Σ - частотно-импульсный модулятор (Σ-ЧИМ), который задается уравнением фильтра Ф, реализованного в виде апериодического звена и уравнениями, определяющими моменты появления импульсов и операции сброса [6].

Уравнение движения Σ - частотно-импульсного модулятора состоит из уравнения движения апериодического звена и уравнений, определяющих моменты появления и знак импульсов, и операции сброса. Так как, наш объект управления, зона перетяжки оптического волокна, обладает запаздыванием, необходимо получить уравнение модулятора, включенного в контур управления объектами с запаздыванием. Как известно [7-8], в объектах с запаздыванием влияние управляющего импульса проявляется на выходе с временной задержкой, не меньшей времени его запаздывания. Исходя из этого, при управлении такими объектами в течении времени, равного времени запаздывания объекта τ_o, формировать следующий управляющий импульс нецелесообразно.

Допустим, что в некоторый момент $t=t_n$ на выходе импульсного устройства ИУ появился n – й импульс. Моменты появления импульсов вида $y^{*}(t)=\sum \lambda_{n+1}\delta(t-t_{n+1})$ и

операции сброса с учетом свойств объекта с запаздыванием определяются соответственно уравнениями:

$$y(t_{n+1}-0)=\int_{t_n+\tau_m}^{t_{n+1}-0} w(t_{n+1}-\tau)x(\tau)d\tau=¿\lambda_{n+1}¿ \tag{1}$$

где

$$\lambda_{n+1}=sign\, y(t_{n+1}-0) \tag{2}$$

$$y(t_{n+1}+0)=0$$

$$y^{¿}(t)=\sum \lambda_{n+1}\delta(t-t_{n+1}) \tag{4}$$

$w(t)=L^{-1}[w(p)]=c_v e^{-p_v t}$– весовая функция апериодического звена; $W_{ф}=\frac{c_v}{p+p_v}$– передаточная функция фильтра Ф, реализованного в виде инерционного звена, $-$¿порог импульсного устройства ИУ; τ_m – параметр Σ частотно–импульсного модулятора, учитывающий эффект запаздывания управляемого объекта ($\tau_m \geq \tau_o$).

Динамика приведенной непрерывной части ПНЧ описывается уравнениями:

$$z^{(l)}(t)+\left[a_{011}+\mu_1(t)\right]z^{(l-1)}(t)+\ldots+\left[a_{0l1}+\mu_l(t)\right]z(t)=y^{¿}t$$

$$z(t)=\vec{q}_0^{\,T}\vec{z}(t-\tau_o) \tag{4}$$

где $\{a_{0li}\}_{i=1}^{l}$ - постоянные коэффициенты, $\mu_1(t),\ldots,\mu_l(t)$ – коррелированные гауссовские белые шумы, причем:

$$M[\mu_i(t)]=0, M[\mu_i(s),\mu_j(t)]=r_{ij}\delta(t-s), i,j=1,2,\ldots,l, \tag{5}$$

Целью данной работы – описание рассмотренной выше системы стохастическими дифференциальными уравнениями в виде Ланжевена и Ито.

Приведенную непрерывную часть ПНЧ системы, описываемой уравнением (4) можно представить в следующем виде:

$$\dot{\vec{z}}(t)=A_0\vec{z}(t)+D_0[\vec{z}]\vec{\mu}(t)+b_0 u(t)\,, \qquad z(t)=\vec{q}_0^{\,T}\vec{z}(t-\tau_o) \tag{6}$$

где

$$A_0=\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -a_{011} & -a_{012} & \dots & \dots & -a_{011} \end{bmatrix}, D_0=\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -z_1 & -z_2 & \dots & \dots & -z_1 \end{bmatrix},$$

$$b_0=[00\dots1]^T$$

$$\vec{z}(t)=\left[z_1(t)z_2(t)\dots z_l(t)\right], \vec{\mu}(t)=\left[\mu_1(t)\mu_2(t)\dots\mu_l(t)\right]$$

$$\vec{q}_0=[10\dots0]^T$$

где, $A_0, D_0 u b_0$ – соответственно вещественные постоянные матрицы размерности $l\times l, l\times l, l\times 1.$

Уравнения (1) - (3), описывающие поведение Σ-частотно-импульсного модулятора являются неоднородными, так как кроме интегральных соотношений присутствует логическое условие сброса. В этой связи, наиболее перспективным направлением является замена модулятора нелинейной эквивалентной системой, не содержащей параметрических обратных связей [7].

В работах [8-10] путем структурных преобразований получена мажорирующая модель сигма частотно-импульсной системы (Σ–ЧИС) управления объектами запаздыванием (рисунок 2).

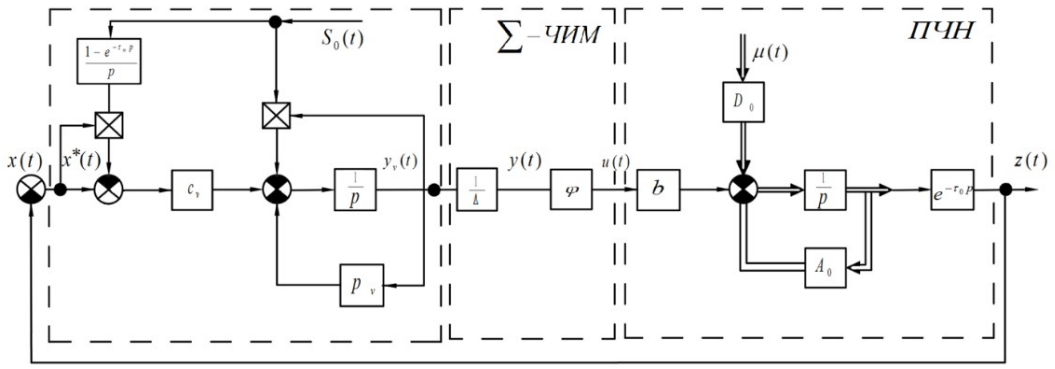


Рис. 2 – Сигма частотно – импульсная система автоматического управления объектами с запаздыванием (структурная модель ∑ - ЧИС)

Объединяя уравнение ПНЧ (4) и ∑ - ЧИМ (9), получим стохастические дифференциальные уравнения системы в форме Ланжевена:

$$\dot{\vec{z}}(t)=A_0\vec{z}(t)+D_0[\vec{z}]\vec{\mu}(t)+b_0u(t); z(t)=\vec{q}_1^T\vec{z}(t) \quad (10)$$

$$u(t)=\psi(y(t)), y(t)=\frac{1}{\Delta}y_v(t) \quad (11)$$

$$\dot{y}_v(t)=p_v y_v(t)-N_0[y_v]s(t)+c_v x(t-\tau_m), N_0[y_v]=-y_v(t) \quad (12)$$

где

$$\vec{z}(t)=\left[z_1,\ldots,z_l\right]^T,\vec{\mu}(t)=\left[\mu_1,\ldots,\mu_l\right]^T,D_0[\vec{z}]=\begin{bmatrix}0 & 0\\ -z_1 & -z_l\end{bmatrix}$$

ψ- нелинейная функция [10].

Полученные стохастические дифференциальные уравнения (10) - (12) дают возможность для построения модели системы в форме Ито.

Далее заменяя шумы $\mu_1(t),\mu_2(t),\ .\ .\ .,\ \mu_l(t)$ независимыми винеровскими процессами. С учетом процедуры мажорирования, математическую модель динамической частотно-импульсной системы управления объектами с запаздыванием (10)-(12) можно представить в виде стохастического дифференциального уравнения Ито

$$d\vec{z}(t)=\left(A\vec{z}(t)+b_0u(t)\right)dt+D_1[\vec{z}]d\vec{w}(t) \tag{13}$$

$$z(t)=\vec{q}_0^T\vec{z}(t-\tau_0),u(t)=\psi(y(t)),y(t)=\frac{1}{\Delta}y_v(t), \tag{14}$$

$$dy_v(t)=[p_1y_v(t)+c_vx(t-\tau_m)]dt+N_1[y_v]d\eta(t), \tag{15}$$

где

$$A=\begin{bmatrix}¿ & 0 & 1 & 0 & \ldots & 0 & 0\\ ¿ & 0 & 0 & 1 & \ldots & 0 & 0\\ & ¿ & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \\ ¿ & 0 & 0 & 0 & \ldots & 0 & 1\\ ¿ & -a_{l1} & -a_{l2} & \ldots & \ldots & -a_{¿-1} & -a_{¿}\end{bmatrix},\quad a_{li}=-a_{0li}+\frac{1}{2}\sum_{k=1}^{l}\delta_{lk}\delta_{ik}, \tag{16}$$

$$p_1=p_v+\frac{1}{2}\sigma_0^2 \tag{17}$$

Таким образом, поведение сигма частотно – импульсной системы управления температурным режимом процесса вытяжки оптического волокна описывается стохастическими дифференциальными уравнениями Ито (13) – (15).

2. Результаты исследования

Экспериментальная проверка адекватности стохастических моделей исходной системе. Для проверки адекватности описания систем с Σ-ЧИМ стохастическими уравнениями Ито проведено цифровое статистическое моделирование типовой системы.

Непрерывная часть типовой системы описывается уравнением вида:

$$\dot{z}(t)=\left[a_0+\mu(t)\right]z(t)+bu(t),x(t)=z(t-\tau_0) \tag{18}$$

где $z(t)$ - выходная координата системы; q, b- постоянные коэффициенты; τ_o- время запаздывания управляемого объекта; $u(t)$ - управляющее воздействие; $\mu(t)$ - параметрический белый шум с нулевым средним и интенсивностью δ_s^2.

Модулятор описывается соотношениями:

$$y_v(t_{n+1}-0)=c_v\int_{t_n+\tau_0}^{t_{n+1}-0}\exp\left(-p_v(t_{n+1}-\tau)\right)x(\tau-\tau_m)d\tau=\lambda_{n+1}\Delta \qquad (19)$$

$$\lambda_{n+1}=sign\, y_v(t_{n+1}-0),\ y_v(t_{n+1}+0)=0,$$

где $x(t)=-z(t)$.

Стохастические дифференциальные уравнения Ито, описывающие систему с Σ-ЧИС (Рисунок 2) представляются в виде:

$$dx=\left[ax(t)+bu(t)\right]dt+\delta_{00}x(t)\,dw(t),\ x(t)=x(t-\tau_0) \qquad (20)$$

$$u(t)=\psi\left(\frac{y_v(t)}{\Delta}\right) \qquad (21)$$

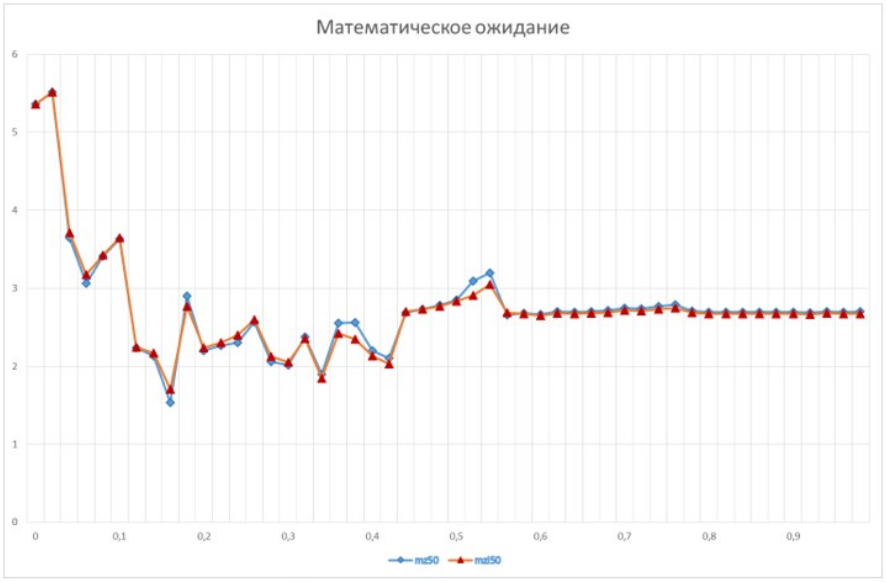
$$d\,y_v(t)=\left[\left(p_v+\frac{1}{2}\sigma_0^2\right)y_v(t)+c_v x(t-\tau_m)\right]dt-\sigma_0\,y_v(t)\,d\,\eta(t) \qquad (22)$$

где $w(t)$ -стандартный винеровский процесс, $a=q+\frac{1}{2}\sigma^2$- коэффициент сноса.

Параметры метода статистического цифрового моделирования (N - объем выборки, Δt - шаг дискретизации) выбраны экспериментально так, чтобы для заданного значения доверительной вероятности $\beta=0,95$ получить относительную погрешность вычисления меньше 5%.

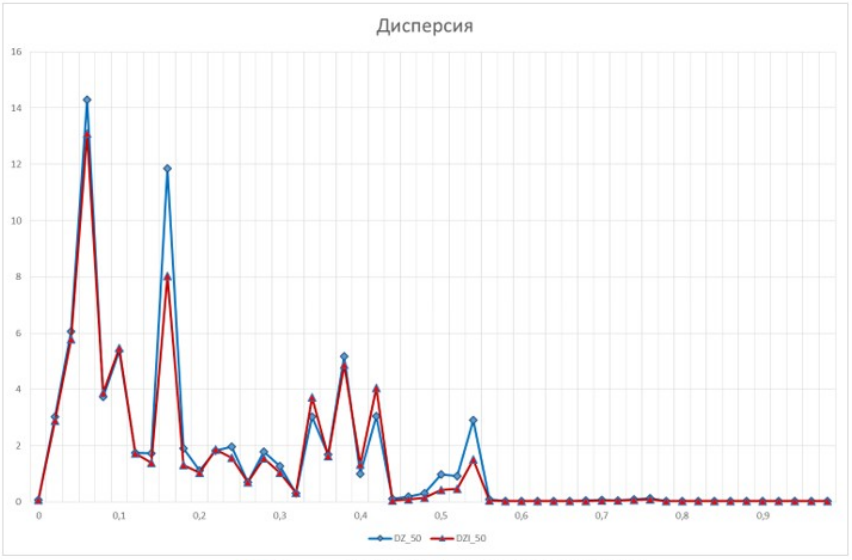
Вычислительный эксперимент проведен при следующих параметрах: параметры модулятора $\alpha=10, c=4, \Delta=2$; объект управления с постоянным запаздыванием $\tau=1, q=2, b=1, \mu(t)$ - параметрический белый шум, т.е. нормально распределенный случайный процесс с нулевым средним и стандартным отклонением $\sigma=1$.

На рисунке 3 приведены оценки математического ожидания $m_z(t)$ типовой системы с Σ-ЧИМ и ее стохастической модели $m_z^{¿}(t)$ при значении интенсивности σ_0^2=3,5 и соответствующие оценки дисперсии $D_z(t)$ и $D_z^{¿}(t)$ выходного сигнала z(t).



типовой системы с Σ-ЧИСАУ,
модели при значении интенсивности σ_0^2 = 3,5.

Рис.3 – Математическое ожидание выходного процесса



типовой системы с Σ-ЧИСАУ,
модели при значении интенсивности σ_0^2 =3,5

Рис. 4 - Дисперсии выходного процесса

3. Заключение

Как видно из этих оценок при значении интенсивности σ_0^2 = 3,5 имитирующего сигнал «сброса», оценки статистических характеристик выходного сигнала $z(t)$ типовой системы с Σ-ЧИМ и ее модели в виде стохастических дифференциальных уравнений Ито достаточно

близки, т.е. модель адекватна исходной системе. Причем оценки характеристик случайных величин и процессов стохастической модели мажорируют аналогичные параметры типовой системы с Σ-ЧИМ, что подтверждает теоретическое обоснование модели, полученные в данной работе. Полученные стохастические дифференциальные уравнения (20) - (22) дают возможность провести анализ и синтез данного класса систем.

Библиографический список

1. Philippe D., Olivier G., Eric P., Mohammed M.S., M.Hertz, M.Dessalle / Diameter regulation of an optical fiber using a generalized predictive control approach. 14th World Congress of IFAC, Beijing, P.R.China. – 8793 – 8797p.

2. Тергеусизова А.С. Сборник публикаций научного журнала "Chronos" по материалам XV международной научно-практической конференции: «Естественные и технические науки в современном мире» г. Москва: сборник со статьями (уровень стандарта, академический уровень). –М: Научный журнал "Chronos", 2017.– 60с. – 17-23с.

3. W. Wojcik, A.S. Tergeussizova. Problem of automatic control and numerical modeling of the speed of optical fiber extract in the process of its manufacture. Reports of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan. ISSN 2224-5227 https://doi.org/10.32014/2019.2518-1483.65 Volume 3, Number 325 (2019), 5 – 12

4. Тергеусизова А.С. Автоматическое управление технологическим производством и математическое моделирование устойчивости процесса вытяжки оптического волокна / Вестник КазНИТУ №3 2018, 419 – 424

5. Тергеусизова А.С. Системы управления процесса вытяжки оптического волокна и инновационные технологии производства. / Вестник КазНИТУ №3 2018, 439 – 447

6. Б.Х. Айтчанов, А.С. Тергеусизова. Технологический процесс вытяжки оптических стержней как объект автоматизированного управления / Reports of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan. ISSN 2224-5227 Volume 2, Number 312 (2017), 91 – 95

7. B. H. Aitchanov, W. Wojcik, A. S. Tergeusizova. Optical fiber exhaust management systems and innovative technologies for its production / News of the National Academy of Science of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences, 2224-5278 Volume 3, Number 423 (2017), 206 – 212

8. Айтчанов Б.Х. Стохастические частотно-импульсные системы с запаздыванием. – Алматы: КазНТУ, 2007.- 160 с.

9. Айтчанов Б.Х., Тергеусизова А.С. Частотно – импульсная система управления в процессе изготовления оптического волокна / IV Международная научно-практическая конференция "Информатика и прикладная математика", посвященная 70-летнему юбилею профессоров Биярова Т.Н., Вальдемара Вуйцика и 60-летию профессора Амиргалиева Е.Н., 2019, Алматы, Казахстан, 152 – 168.

10. Tergeussizova A.S., Aitchanov B.H., Application of Dynamic Frequency-Pulse Automatic Control Systems the Optical Fiber Exhaust. 5 th International Conference on “Innovative Trends in Multidisciplinary Academic Research” (ITMAR- October 19-20, 2018) ITMAR© 2018 Istanbul, Turkey Global Illuminators, Kuala Lumpur, Malaysia.

Вуйцык Вальдемар – д.т.н., профессор. Люблинский технический университет; Люблин, Польша; e-mail: waldemar.wojcik@pollub.pl

Айтчанов Бекмурза Хусаинович – д.т.н., профессор. Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, 050000, Алматы; e-mail: b.aitchanov@aues.kz

Тергеусизова Алия Советжановна – доктор PhD, ассоциированный профессор. Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, 050000, Алматы; e-mail: a.tergeusizova@aues.kz

SOLUTION OF ONE-DIMENSIONAL EQUATION OF HEAT CONDUCTION IN MATLAB

A. Anafina[1,3], A. Tengayeva[2,3]
[1]Margulan University Pavlodar, Kazakhstan
[2]Kazakh National Agrarian Research University Almaty, Kazakhstan
[3]Constructor University Bremen, Germany
E-mail: aisha_anafina@mail.ru; Aijan0973@mail.ru

Abstract. *In this article, shown the numerical and three-dimensional, two-dimensional graphic solutions of the problem of cooling a thin rod of length L using the MatLab's PDE Toolbox toolbar. At the initial moment, central third of the rod is heated to temperature T0 and the rest of the rod has zero temperature, at the left end zero temperature is constantly maintained while the right end of the rod is thermally insulated.*

Keywords: *MatLab, heat equation, boundary condition, time, temperature, initial moment, private derivative, parameter.*

Introduction

From a mathematical point of view, equations of mathematical physics are differential equations of second-order partial derivatives. This type of equation describes a number of important physical processes.

In contrast to ordinary differential equations, obtaining the equation is not enough for solution of second-order partial differential equation.

It is crucial to know the area for which a solution is being sought, as well as the boundary and initial conditions. Without information on the region and boundary conditions, it makes no sense solve second-order partial differential equations. Even a slight, at first glance, change in the boundary conditions can lead to a radical change in the solution. In such situation, it is desirable to have an effective and reliable tool that allows a relatively quick and easy solution [1]. The MatLab system is just such a tool and is used in various studies [2].

MatLab has a couple of built-in functions and the Partial Differential Equation Toolbox for solving partial differential equations. Built-in functions allow solving equations for the case when the equation contains one spatial variable (one-dimensional problem) [3].

The heat equation, in one-dimensional, was studied by many authors [4], [5], [6]. In this article were considered comparative studies between the traditional method of separation of variables and the Adoman method for the heat equation [7].

Material and methods

To solve the equations of mathematical physics in the case of several measurements used numerical methods to convert differential equations or their systems into systems of algebraic equations. The accuracy of the solution is determined by the step of the coordinate grid, the number of iterations and the bit grid of the computer. Finding the exact analytical solution is possible only for a very limited range of one-dimensional problems. The object-oriented approach underlying MatLab provides modern, efficient programming technology.

The main approaches for solving mathematical physics equations in the system MatLab:

− compilation of m-files;
− compilation of functions;
− use of built-in functions.

Results and discussion

The pdepe() function allows solving one-dimensional equations of parabolic and elliptic type of a fairly general form.

When solving a parabolic type equation in the one-dimensional case, the pdepe() function allows one to solve equations of the following form:

$$C\left(x,t,u,\frac{\partial u}{\partial x}\right)\frac{\partial u}{\partial t}=x^{-m}\frac{\partial}{\partial x}\left(x^{m}F\left(x,t,u,\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right)+S\left(x,t,u,\frac{\partial u}{\partial x}\right)$$

With initial condition $u(x,t_0)=f(x)$, boundary conditions have the next form

$$p(x,t,u)+q(x,t)F\left(x,t,u,\frac{\partial u}{\partial x}\right)=0$$

to each of the two borders.

Formulation of the problem

Let us solve the problem of cooling a thin rod of length L with a thermal conductivity coefficient if at the initial moment, central third of the rod is heated to temperature T0 and the rest of the rod has zero temperature, at the left end zero temperature is constantly maintained while the right end of the rod is thermally insulated.

Let us formulate the problem mathematically. To do this, denote by T(z,t) the temperature of the rod at the point with the coordinate $z(0\le z\le L)$ at time $\tau(\tau\ge 0)$. The function $T(z,\tau)$ must satisfy the equation $\frac{\partial T}{\partial \tau}=a^2\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$. The initial condition has the form $T(z,0)=T_0$ for

$L/3\le z\le 2L/3$ and $T(z,0)=0$ otherwise. The boundary conditions are $T(0,\tau)=0$ and

$\frac{\partial T(L,\tau)}{\partial z}=0$. The last condition is a consequence of the thermal insulation of the rod on the right.

In the new notation, we obtain an equation $\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ with the initial condition $u(x,0)=1$ for $1/3\le x\le 2/3$ and $u(x,0)=0$ otherwise. The boundary conditions are $u(0,t)=0$ and

$\frac{\partial u(1,t)}{\partial x}=0.$

An equation function was created below:

```
function [C,F,S] = PDEfunc(x,t,u,du)
C=1;
F=du;
S=0;
end
```

The code of the PDEfunc() function in the m-file editor window is shown in Figure 1.

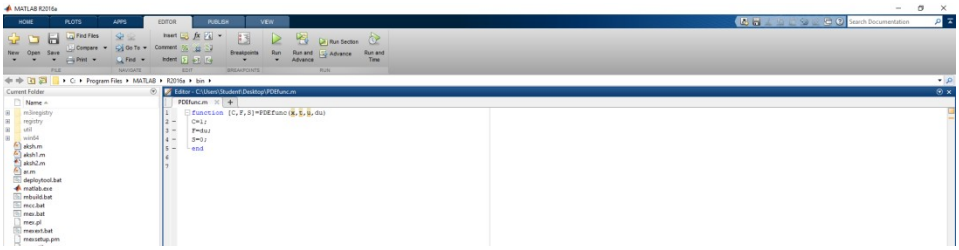


Figure 1 – The Equation Function Code

Function that determines the initial temperature distribution:

```
function f=PDEinit(x)
f=(x>=1/3)&(x<=2/3);
end
```

The code of the PDEinit() function in the m-file editor window is shown in Figure 2.

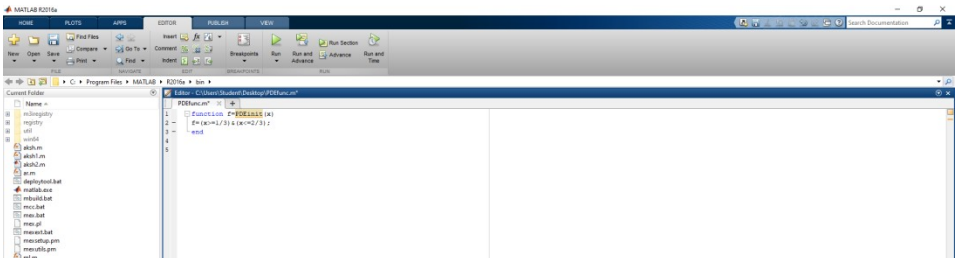


Figure 2 - Initial Condition Function Code

Another function is created in order to set the boundary conditions:

```
function [p0,q0,p1,q1]=PDEbound(x0,u0,x1,u1,t)
p0=u0;
q0=0;
p1=0;
q1=1;
end
```

The code of the PDEbound () function in the m-file editor window is shown in Figure 3.

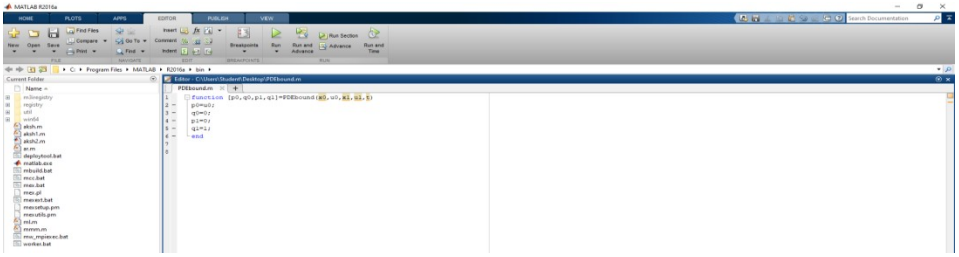


Figure 3 - Boundary Function Code

The command code of the task solution:

```
x=0:0.01:1; t=0:0.01:0.4;
sol=pdepe(0,@PDEfunc,@PDEinit,@PDEbound,x,t);
u=sol(:,:,1);surf(x,t,u);
title('Остывание стержня','FontWeight','BOLD','FontSize',13);
xlabel('координата x=z/L', 'FontWeight','BOLD');
ylabel('время t=a^2\tau/L^2','FontWeight','BOLD' );
zlabel('температура u=T/T0','FontWeight','BOLD');
figure;
plot(x,u(2,:),'r-','LineWidth',2);
grid on; hold on;
plot(x,u(5,:),'b--','LineWidth',2);
plot(x,u(10,:),'k.','LineWidth',2);
legend(strcat('t=',num2str(t(2))),strcat('t=',num2str(t(5))),strcat('t=',num2str(t(10))));
title('Остывание стержня','FontWeight','BOLD','FontSize',13);
xlabel('координата x=z/L','FontWeight','BOLD');
ylabel('температура u=T/T0','FontWeight','BOLD')
```

The code for solving the problem is shown in Figure 4.

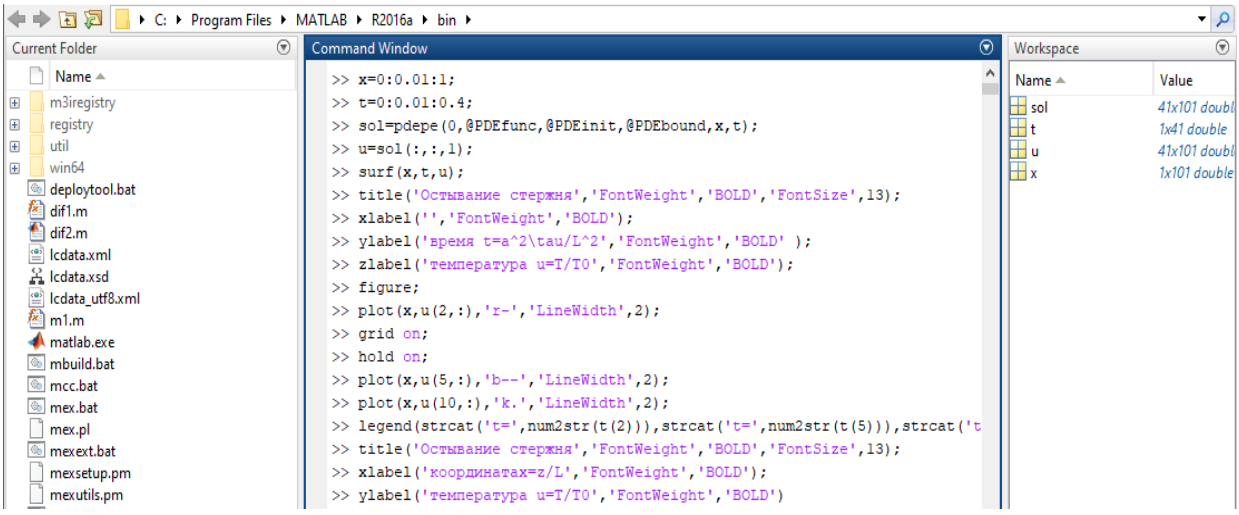


Figure 4 – Code Problem Solving

The solution of the differential equation is found using the command sol=pdepe(0,@PDEfunc,@PDEinit,@PDEbound,x,t). By command u=sol(:,:,1) in the variable u

we write an array of values of this function at all nodal points. The numerical solution of the problem is shown in Figure 5.

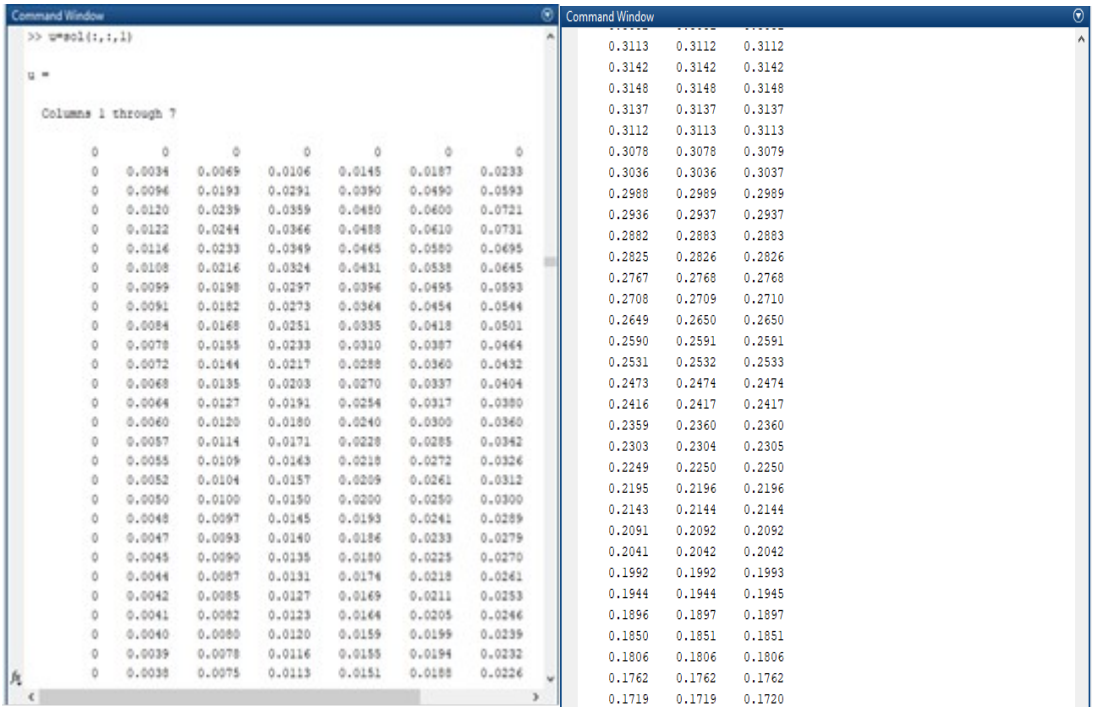


Figure 5 - Numerical solution of the problem

A three-dimensional graph and a two-dimensional graph are shown in Figure 6 and Figure 7.

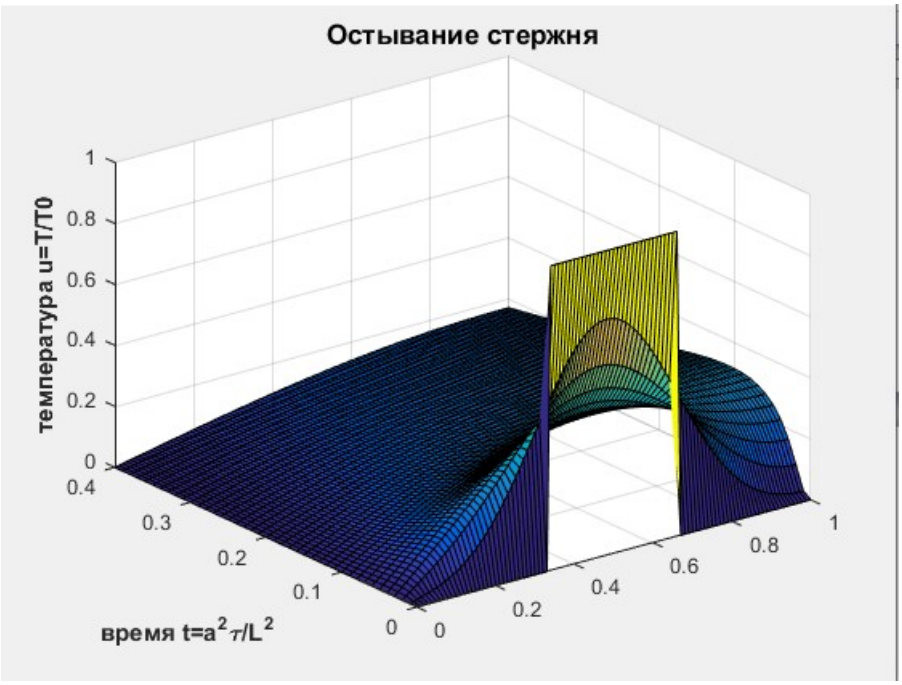


Figure 6 - Three-dimensional graph is built on the basis of the calculated solution

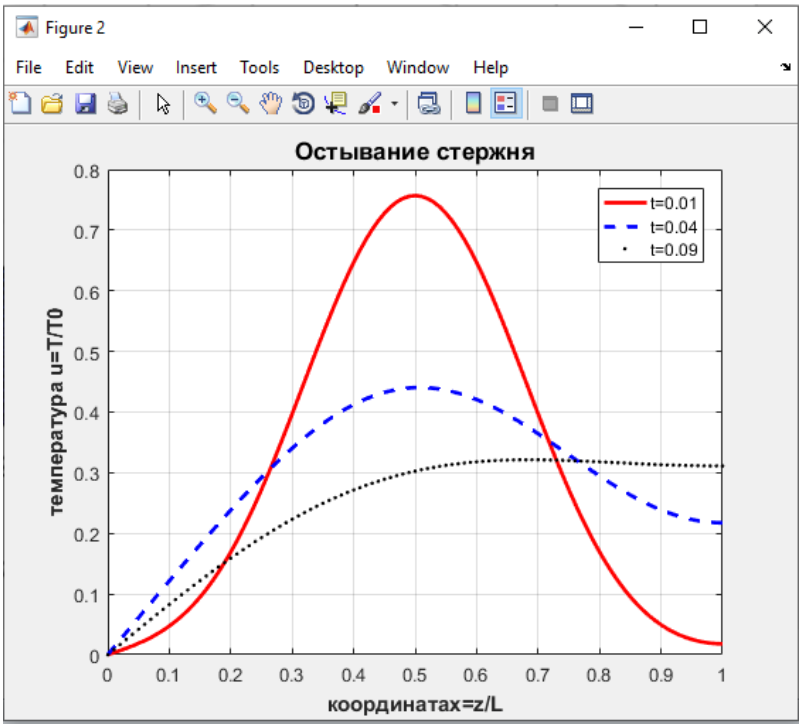


Figure 7 – The two-dimensional graph is built on the basis of the calculated solution

Conclusions

The Matlab system is a powerful and universal instrument of solving problems that are arising in various fields of human activity and engineering research. The range of problems that can be solved using Matlab covers the foliwing fields: matrix analysis, signal and image processing, mathematical physics problems, optimization problems, data processing and visualization, neural networks, fuzzy logic, and many others. The penetration of mathematical methods in technology, science and the humanities follows the path of mathematical design and modeling of relevant objects, and the ever-increasing capabilities of computer technology provide great success in this scientific field.

Reference

1. Timokhin A.N, Rumyantsev Yu.D. Modeling control systems using MatLab, M.: INFRA-M, 2016. –256 p.
2. Zhunusova A.K., Alikhanov D.M., Kulmakhambetova A.T. Calculation of parameters of the electric drive of the transporter for technological line of sorting eggs on simulation model. Research, Results, No. 1, 2017, 244-251 p. Almaty, KazNAU
3. Maken E., Tengaeva A. Solving the heat equation in the Matlab system, Collection of materials of the XXIII international scientific-practical conference of young scientists and students "Scientific youth in agricultural science: achievements and prospects" KazNAU, Almaty, April 26-27, 2019. 49-53 p.
4. Benyam Mebrate. Numerical Solution of a One Dimensional Heat Equation with Dirichlet Boundary Conditions. American Journal of Applied Mathematics. 2015, 3(6): 305-311 p.
5. Derzhavin O.M., Eliseev V.L., Pikhletsky M.V., Sidorova E.Yu. Modeling and research of dynamic systems in the environment of MATLAB / Simulink, MPEI Publishing House Moscow, 2016 - 56 p.

6. Luis Castano, Gustavo Osorio. An approach to the numerical solution of one-dimensional heat equation on SoC FPGA. RIELAC, Vol. XXXVIII 2/2017. p. 83-93
7. A. Gorguis and W. K. Benny Chan. Heat equation and its comparative solutions. Computers & Mathematics with Applications, 55(12):2973–2980, 2008.

Тенгаева Айжан Абденовна – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Казахский национальный аграрный исследовательский университет, Алматы; https://orcid.org/0000-0002-0375-3134;
e-mail: Aijan0973@mail.ru

Анафина Айша Ермековна – магистр математики, Маргулан Университет, Алматы; https://orcid.org/0009-0006-9685-8811;
e-mail: aisha_anafina@mail.ru

CONVERTING FUNCTIONAL RELATIONS TO LOCAL EQUATIONS

Gulay Kenenbaeva[1], Elaman Kenenbaev[2]
[1]*J.Balasagyn Kyrgyz National University, Bishkek, Kyrgyzstan*
[2]*Institute of Mathematics of National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan*
E-mail: gkenenbaeva@mail.ru; Elaman0527@gmail.com

Abstract. *The most general local operators on functions defined on topological spaces are considered: coinciding of two functions in any neighbor of a point implies a same value of the operator on such functions in the point. Various ways to convert relations between values of a function in a finite set of points to local equations are proposed. Equivalence of certain functional relation to the local equation for a continuous function: limsup of ratio of the measure where the function is positive to the measure of the neighborhood of a point is given. Two new algorithms are constructed to obtain partial differential equations for functions of two variables: passing to limit yielding a derivative; differentiation and equating variables. As an example, Asgeirsson's identity for partial differential equations of hyperbolic type is derived.*

Keywords: *functional relation, local equation, ordinary differential equation, partial differential equation, algorithm.*

MSC Classification · 34A26, 35A16

Introduction

Considered a general task on relations between equations with global and local operators for a same function. Obviously, a global operator involves values of the function in different points of domain. Previously, definitions of local operators involved any kind of smoothness of a function defined on a domain with locally linear structure. The most general notion of local operator for function defined on a domain with topological structure without any restrictions on a range was proposed in [1]. We slightly improved the definition.

Definition 1. A general local operator Q of the function $u:U\,V$, where U is a topological space, at the point $x\,U$ satisfies the condition: if for some neighborhood D of the point u the restrictions $u_1 ¿_D = u_2 ¿_D$ hold then $Q(u_1, x) = Q(u_2, x)$.

Remark. This notion does not relate to "local operators, local variables" in programming and other branches of mathematics where it stands for "not global, in a bounded, definite domain."

It is known that solutions of some types of differential equations have functional relations (in our terminology) connecting their values in different points.

Remark. Various difference schemes for differential equations widely used in computations also connect values of unknown functions in different points but they are approximate and are not related to "functional relations".

Earlier, single functional relations were known:

Ch.J. Vallée-Poussin's multipoint problem for linear ordinary differential equations [2]; Asgeirsson's identity for linear partial differential equations of hyperbolic type.

We put a general problem (see [3]): to investigate various classes of functions presented by differential equations. What of them can be presented by functional relations? What are connections between such presentations and other ones? How functional relations can be used in applications of classes of functions, in their computer presentations?

In [3], [4] we derived functional relations from differential equations. In this paper we derive differential equations from functional relations.

Section 2 contains definitions.

Section 3 contains theorems and proposes applications.

METHODOLOGY, DEFINITIONS

Consider any mathematical object F with marked points $z_1, z_2, \ldots, z_k, k \geq 2$, of a topological space S. If F is a function then $z_j = (x_j, F(x_j)), j = 1..k$.

Definition 1. If values $z_1, z_2, \ldots, z_k$ fulfil a predicate $P(z_1, z_2, \ldots, z_k) = yes$ for all $F \in S$ then S is said to be $(P, \leq k)$-functional-related; If the number k is the minimal then S is said to be (P, k)-functional-related.

As usually in mathematics, if all solutions of a differential equation or other mathematical problem satisfy a functional relation, then the classification of the functional relation is also the classification of the given mathematical problem.

Definition 2. If for given points $x_1, x_2, \ldots, x_{k-1}$, the point x_k is unique then the functional relation for a function is said to be hard otherwise it is said to be soft.

Comments: well-known examples:

Example 1 (soft relation). It is known that for a function f being a polynomial of $(k-2)$-power, $k \geq 3$ the following formula takes place

$$\left\{ \binom{k}{j} 1 (-1)^j f(x + jh) \middle| j = 0..k-1 \right\} = 0. \quad (1)$$

For such a function, its k values in arbitrary points are connected, the predicate P can be written in the form of Lagrange polynomial.

In general (non-formally), for a $2D$-object of $(k-2)$-order, its k points are connected; for a $3D$-object of $(k - 3)$-order, its k points are connected.

Example 2 (soft relation). Ch.J.Vallee-Poussin [2]:

Multipoint value problem for a linear ordinary differential equation

$$u^{(k-2)}(x) + p_1(x) u^{(k-3)}(x) + \ldots + p_{k-2}(x) u(x) = 0 \, (a \leq x \leq b),$$

$$p_1(x), \ldots, p_{k-2}(x) \in C[a, b]; u(x[j]) = c[j], j = 1..k-1$$

has a unique solution when sum of norms of coefficients is small.

Example 3 (hard relation). A solution of the hyperbolic equation

$$\partial^2 u(x_1, x_2) / (\partial x_1 \partial x_2) = 0$$

meets the Asgeirsson's identity $(k = 4)$

$$u(w_1, v_1) + u(w_2, v_2) - u(w_1, v_2) - u(w_2, v_1) = 0.$$

Example 4 (hard relation). A solution of the equation

$$\partial^2 u(x_1, x_2, x_3)/(\partial x_1 \partial x_2 \partial x_3) = 0$$

meets the generalized Asgeirsson's identity $(k = 8)$:

$$u(v_1, v_2, v_3) - u(v_1, v_2, v_6) - u(v_1, v_5, v_3) + u(v_1, v_5, v_6)$$

$$- u(v_4, v_2, v_3) + u(v_4, v_2, v_6) + u(v_4, v_5, v_3) - u(v_4, v_5, v_6) = 0.$$

3. METHODS TO CONVERT FUNCTIONAL RELATIONS TO LOCAL EQUATIONS

3.1. Non-differential local equation

We consider the functional relation for a continuous function

$$u(2x) = 2u(x), x R_{+¿=¿¿} \tag{2}$$

Theorem 1. Solutions of the equation (1) fulfil the local equation

$$Q(u, 0) = a_u R,$$

$Q(u, x) := \limsup \{ measure \{ x' ¿ \tag{3}$

$$a_u : = ^{\lfloor measure\{x[,2] \vee u(x)0\}/¿12\rfloor} .$$

Proof (briefly). The assumption "$u(0)0$" implies contradiction: there is such ¿0 that $sgn(u()) = sgn(u(0))$ and we have $u(1) = 2^n u(2^{-n})$ for all $n N$, hence $¿u(1) \vee ¿$ is unbounded. Hence, $u(0) = 0$ and the graph of the function $u(x)$is self-similar.

3.2. Ordinary differential equations

What functions besides of polynomials (for all $h > 0$) and periodic functions (for fixed h) satisfy the equality (1)?

It is obvious that the derivative $f(x)$of a smooth h-periodic function $g(x)$meets the condition:

(U1) function $f(x)$is periodic and $\int_0^h f(s)\,ds = 0$ the function $g(x)$is defined up to an additive constant:

$g(x) = \int_0^x f(s)\,ds + const$.

We need

Lemma 1. A periodic function can be restored by its second derivative.

Proof. Let $v(x) = f(x)$. Then $v(x) = w(x) := \int_0^x f(s)\,ds + c$.

$$\int_0^x w(s)ds=\int_0^x\left(\int_0^s f(t)dt+c\right)ds;$$

The condition (U1):

$$\int_0^h w(s)ds=\int_0^h\left(\int_0^s f(t)dt+c\right)ds=\int_0^h\int_0^s f(t)dtds+c\,h;$$

$$c=-\int_0^h\int_0^s f(t)dtds/h;\ w(x)=\int_0^x f(s)ds-\int_0^h\int_0^s f(t)dtds/h.$$

Method 1. Differentiation in the hypothetical form of a differential equation.

Consider periodic functions. The functional relationship for them is

$$u(x+h)u(x)=0 \text{ for } h=const>0 \text{ for all } x\in R. \quad (4)$$

Suppose that the function $u(x)C^1$ (continuous and continuously differentiable), and this function satisfies the differential equation

$$u'(x)=f(x). \quad (5)$$

Transform $u(x)=\int_0^x f(s)ds;\ u(x+h)-u(x)=\int_x^{x+h} f(s)ds=0.$

Differentiating with respect to x, we get $f(x+h)f(x)=0.$ Thus, in equation (5) the condition (U1) must be satisfied.

Method 2: Convert a functional relationship to a known type and convert back.

Consider the functional relationship

$$u(x+h)=qu(x) \text{ for} q, h=const>0 \text{ for all } x\,R. \quad (6)$$

Substitute $u(x)=\exp(gx)v(x)$ where $g=(\ln q)/h$. We get

$$\exp(g(x+h))v(x+h)=q\exp(gx)v(x),\exp(gh)v(x+h)=q\,v(x),$$

$v(x)v(x+h)=0$ and an equation of type (5) for the function $v(x)$: v'\(x\)=f\(x\).

Substitute and transform: $(\exp(-gx)u(x))'=f(x);$

$$\exp(-gx)u'(x)-g\exp(-gx)u(x)=f(x).$$

Consequently, the function u(x) satisfies the differential equation

$$u'(x)-gu(x)=\exp(gx)f(x), \quad (7)$$

where the function $f(x)$ satisfies the condition (U1). Consider the functional relationship $u(x\,h)2u(x)+u(x+h)=0$ for $h=const>0$ for all $x\,R$. (8)

Theorem 2. If a uniformly continuous function satisfies (6) then it can be presented as sum of a linear function and an h -periodic function.

Proof. Denote $a:=u(0),b=u(h)$. Then $u(nh)=u(0)+(b\,a)n,nZ$.If for any $d(0,h)$ the difference $u(d+h)u(d)b\,a$ then differences ¿$u(nh)u(d+nh\vee$¿ will be unbounded. Theorem is proven by contradiction.

Consider the equation

$$u''(x)=f(x), \tag{9}$$

$f(x)$is an h-periodic function.

Theorem 3. If $f(x)$ satisfies (U1) then $u(x)$ can be presented as sum of a linear function and an h-periodic function.

Proof. $u'(x)=u'(0)+\int_0^x f(s)ds=u'(0)+\int_0^{E(x)} f(s)ds;$

$$E(x):=x\,max\{nZ\vee nh\,x\},$$

$$u(x)=u(0)+u'(0)x+\int_0^x\int_0^{E(t)} f(s)dsdt.$$

It is proven [5] that integral of periodic function is a sum of a linear function and an h-periodic function. Theorem is proven.

Hence, in the class of smooth uniformly continuous functions, the relation (8) and the equation (9) are equivalent.

3. Partial differential equations

We consider smooth functions of two variables.

Let variables $z_1,z_2,\ldots$denote $x_1,x_2,\ldots,y_1,y_2,\ldots$with the order relation

$(z_i \prec z_j) \Leftrightarrow (i<j)$.

We will use the following technique (example):

Given the functional relationship $u(x_4, y_5)u(x_3, y_1) = u(x_4, y_5)u(x_1, y_1)$.

Rewrite: $u(x_4, y_5)u(x_3, y_1) - u(x_4, y_5)u(x_1, y_1) = 0$;

$u(x_4, y_5)(u(x_3, y_1) - u(x_1, y_1))/(x_3 - x_1) = 0$.

Passing to limit, we obtain the differential equation $(x_4, y_5)D_x u(x_1, y_1) = 0$.

Consider the functional relationship of type

Sequence of $u(x_i, y_j)$ *connected with signs* $(*), (+), ()$ and one sign (=) (10)

satisfying common algebraic rules, with presence of variables x_1 and y_1.

Algorithm 1 (briefly). Repeat: if (10) can be rewritten as

$$F_1(\ldots z_i \ldots) + F_2(\ldots z_i \ldots) + \ldots = F_1(\ldots z_j \ldots) + F_2(\ldots z_j \ldots) + \ldots,$$

other signs coincide and differ from z_i and z_j ; $z_i z_j$then change (10) to

$D_{z_i}(F_1(\ldots z_i \ldots) + F_2(\ldots z_i \ldots) + \ldots) = 0$; put$D_z$ before all$(\ldots z_i \ldots)$. (11)

If x_1 and y_1 present only then change them to x and y. End For example, Asgeirsson's functional relationship (with rotation 450): (We use denotations close to ones in algorithmic languages). Given

$$u(x1, y1) + u(x2, y2)u(x1, y2)u(x2, y1) = 0.$$

Step 1-1. $u(x1, y1) + (u(x2, y1)) = u(x1, y2) + (u(x2, y2))$

Step 1-2. $Dy\,1(u(x1, y1) + (u(x2, y1))) = 0$

Step 1-3. $Dy(u(x1, y1)) + (Dy(u(x2, y1))) = 0$

Step 2-1. $Dy(u(x1, y1)) = Dy(u(x2, y1))$

Step 2-2. $Dx\,1(Dy(u(x1, y1))) = 0$

Step 2-3. $Dx(Dy(u(x1, y1))) = 0$

Step 3-end. $Dx(Dy(u(x, y))) = 0$

We have obtained the partial differential equation $\square_x \square_y u(x, y) = 0$.

Algorithm 2. Repeat: While it is possible, apply D_{z_i}; Equalize all x_i and all y_j.

For example, given: $u(x1,y1)*u(x2,y2)u(x1,y2)*u(x2,y1)=0.$

Step 1-1. $Dx1(u(x1,y1)*u(x2,y2)u(x1,y2)*u(x2,y1))=0$

Step 1-2. $Dx1(u(x1,y1))*u(x2,y2)Dx1(u(x1,y2))*u(x2,y1)=0$

Step 2-1. $Dy1(Dx1(u(x1,y1))*u(x2,y2)Dx1(u(x1,y2))*u(x2,y1)=0$

Step 2-2. $Dy1(Dx1(u(x1,y1)))*u(x2,y2)Dx1(u(x1,y2))*¿$

$$Dy1(u(x2,y1))=0$$

Step 3-end. $Dy(Dx(u(x,y)))*u(x,y)Dx(u(x,y))*Dy(u(x,y))=0$

We have obtained the partial differential equation

$$(\square_x\square_y u(x,y))u(x,y)-(\square_x u(x,y))(\square_y u(x,y))=0.$$

4. CONCLUSION

We hope that the paper would draw attention to general local equations and such methods would yield new classes of properties of solutions of ordinary and partial differential equations and new properties of their solutions.

REFERENCES

1. Muratalieva V.T. Category of Volterra equations for functions with parameter. Herald of Institute of Mathematics of NAS of KR, 2024, No. 1, pp. 145-151.
2. Vallée-Poussin Ch.J. Sur l'equation différentielle linéaire du second ordre. Détermination d'une intégrale par deux valeurs assignées. Extension aux équations d'ordre. Journal Math. Pures Appl., 8, 1929, pp. 125–144.
3. Kenenbaeva G.M., Kenenbaev E. Approximate solving of differential equations by means of functional relations. Scientific investigations in Kyrgyz Republic, 2017, No. 4, pp.13-16.
4. Kenenbaeva G.M., Kenenbaev E. Classification of functional relationships and their use for the study of differential equations. Bulletin of Jalal-Abad State University, 2019, No. 4, pp. 29-34.
5. Domanova E. D. Opredelennyi integral. Nesobstvennyi integral [Definite integral. Improper integral]. Novosibirsk, Novosibirsk National Research State University, 2013, 53 p. (in Russ.)

Кененбаева Гулай Мекишовна – д.ф.-м.н., профессор Института математики и информатики Кыргызский национальный университет имени Жусупа Баласагына; 720033 г. Бишкек: email: gkenenbaeva@mail.ru

Кененбаев Эламан – младший научный сотрудник Института математики
Национальной академии наук Кыргызской Республики
720071 г. Бишкек: email: Elaman0527@gmail.com

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА ДАННЫХ GPR

К. Искаков, С. Боранбаев
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
E-mail: kazizat@mail.ru

В статье рассотрены следующие вопросы: Инженерно-технические приемы интерпретации радарогрграмм; Алгоритмы первичной обработки георадарных данных; Алгоритмы численного решения для уравнения геоэлектрики; алгоритмы численоого решения обратной задачи по определению геоэлектрического разреза. Для решения обратных задач приведен оптимизационный метод. Предложен алгоритм решения сопряженной задачи в дискретной форме, обладающий условием однородности и консервативности. Разработан алгоритм определения источника в цифровом формате для различных антенных блоков. Приведены численные расчеты по восстановлению источника по данным георадара ОКО-2.

1. Инженерно-технические приемы интерпретации радарогрграмм

Георадиолокация (англ. ground-penetrating radar, GPR) – это геофизический метод обследования подземной среды, который выполняется георадаром. Георадар излучает широкополосный сигнал радиочастотного диапазона и регистрирует отражения этого сигнала от различных объектов грунтовой среды.

Георадар состоит из основных блоков: генератора наносекундных импульсов; стробоскопического приемника; широкополосной антенной системы; синхронизатора; модуля интерфейса; микроконтроллера (или компьютера); источника питания.

Распространение электромагнитных волн в различных средах характеризуется скоростью распространения волн, диэлектрической проницаемостью среды, удельным затуханием сигнала .

Электромагнитные импульсы, возникающие в результате возбуждения передающей антенны генератором наносекундных импульсов, распространяются в зондируемой среде, испытывая затухание, рассеяние и отражение на неоднородностях среды. Приемная антенна принимает данные сигналы, преобразует электромагнитный отклик в электрический сигнал, который затем фильтруется, усиливается и регистрируется приемником в аналоговом или цифровом виде. Полученный сигнал оцифровывается и передается в блок цифровой обработки (возможно компьютер), где проводится первичная обработка сигнала, запись во встроенную память для последующей обработки и визуализации.

Измерительная часть прибора обеспечивает регистрацию отраженных волн с приемной антенны, автоматическую временную регулировку усиления, стробирование и оцифровку сигнала [1]. Стробирование сигнала обеспечивается блоком управления и синхронизации. Одна радаротрасса получается после излучения и стробирования 512 импульсов. После записи всех трасс на профиле получается радарограмма.

Этапы обработки данных [1]: Ввод данных; Анализ спектров прямой волны, отражений в области гипербол и шума (частей записи на больших временах); Скользящее суммирование для удаления синфазной помехи (если необходимо) с панелью суммирования порядка 10% от общего числа трасс на экране; Частотная фильтрация; Регулировка амплитуд; Введение статических поправок на основании данных о рельефе профиля и задержке сигнала при записи; Интерполяция записей вдоль профиля в соответствии с масштабом съемки; Скоростной анализ выделенных гиперболических осей

синфазности; Миграция с определенной по гиперболам скоростью (контроль определения скорости, анализ осей синфазности, ранее «закрытых» дифрагированными волнами); Преобразование временной оси в ось глубин на основании определений средней скорости распространения волн в разрезе.

2. Алгоритмы первичной обработки георадарных данных

Разработаны алгоритмы снижения помех, скрывающих полезный сигнал, на основе использования: частотной фильтрации, усреднения сигналов, коррекция амплитуд, цифровыми фильтрами Баттерворта; с использованием различных вейвлетов: Хаара, Добеши. А также рассмотрены алгоритмы повышения разрешающей способности на основе дискретного уравнения Колмогорова-Винера, с применением алгоритма Левинсона-Дурбина и алгоритм очистки сигнала от посторонних частот с комплексным применением дискретного вейвлета и фильтра бесконечной импульсной характеристики (БИХ) нижних частот Баттерворта, на реальных данных георадара.

Основная область применения вейвлетных преобразований – анализ и обработка сигналов и функций, нестационарных во времени или неоднородных в пространстве, когда результаты анализа должны содержать не только частотную характеристику сигнала (распределение энергии сигнала по частотным составляющим), но и сведения о локальных координатах, на которых проявляют себя те или иные группы частотных составляющих или на которых происходят быстрые изменения частотных составляющих сигнала

Дискретное вейвлет преобразование радарограммы получают применением набора фильтров. Сначала радарограмма x пропускается через низкочастотный (НЧ) фильтр с импульсным откликом g, и получается свёртка.

Одновременно сигнал раскладывается с помощью высокочастотного (ВЧ) фильтра h. В результате получаются детализирующие коэффициенты (после ВЧ-фильтра) и коэффициенты аппроксимации (после НЧ-фильтра). Типовой метод подавления шумов – удаление высокочастотных составляющих из спектра сигнала. Применительно к Вейвлетным разложениям это может быть реализовано непосредственно удалением детализирующих коэффициентов высокочастотных уровней.

Программа определения геоэлектрического разреза дополняет и улучшает интерпретацию результатов георадарных исследований с помощью фирменных ПО, поставляемых вместе с георадарами.

Функциональные возможности программы:

1. Ввод данных из файла радарограммы;
2. Визуализация профиля радарограммы;
3. Определение глубины залегания подповерхностного объекта;
4. Определение относительной диэлектрической проницаемости среды;
5. Определение электрической проводимости подповерхностной среды;
6. Сохранение профиля радарограммы в различных форматах.
7. Просмотр графика трассы радарограммы
8. Сохранение графика трассы радарограммы в различных форматах.

Относительная погрешность вычисления определяемых параметров геологического разреза находиться в пределах 5-8%. На программу получена авторское свидетельство №9319 от 20.04.2020 г. Программный комплекс разработан в среде Embarcadero RAD Studio C++ Builder XE5 [2] .

3. Дискретные аналоги оптимизационного метода

Рассматриваются алгоритмы численного решения обратных задач геоэлектрики на дискретном уровне. В работах Б.Рысбайулы в соавторстве [3-6], а также в серии работ А.Л. Карчевского [7-8], показано, что эффективно построить вспомогательную (сопряженную)

задачу на дискретном уровне, которая будет сопряжена на разностном уровне к исходной дискретной прямой задаче. Подробный сравнительный анализ традиционного подхода и дискретного на ряде численных примером изложено в работе А.Л.Карчевского [7]. Суть обратной задачи состоит в определении коэффициента *ε(z)* и *υ(z,t;ε)* из постановки прямой задачи по известной дополнительной информации. Обратную задачу решаем оптимизационным методом. Приведем окончательные формулы: Функционал:

$$J(p)=\int_0^T \left[\upsilon(0,t;\varepsilon)-f(t)\right]^2 dt, \qquad (1)$$

где *p(z)* - приближенное решение обратной задачи .

1. Градиент функционала:

$$\nabla J\left(p^{(k)}\right)=\int_0^T \upsilon_{tt}\left(z,t;p^{(n)}\right)\cdot\psi\left(z,t;p^{(n)}\right)dt, n=1,2,... \qquad (2)$$

Сопряженная задача:

$$p(z)\psi_{tt}-\sigma(z)\psi_t=\frac{1}{\mu}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial z}\psi\right)-\frac{\lambda^2}{\mu}\psi, \qquad (3)$$

$$\psi_z|z=0=2\left[\upsilon(0,t;p)-f\right],\psi(L,t)=0, \qquad (4)$$

$$\psi|t=T=0,\psi_t|t=T=0. \qquad (5)$$

Далее получим формулы (1)-(5) на дискретном уровне. Для этого поступим следующим образом:

а) Область непрерывного изменения аргументов $Q=[0,T]\times[0,L]$заменим сеточной

$$\Omega_h=\left\{(ih,\tau j), i=\overline{0,N}, j=\overline{0,M}, h=L/N, \tau=T/M\right\}.$$

Аппроксимируем задачу (4.1)-(4.3) разностной схемой:

$$p_i y_{\bar{t}t}+\sigma_i y_t=\frac{1}{\mu}\left(y_{\bar{z},i}\right)_{z,i}-\frac{1}{\mu}\lambda^2 y_i-g_i^j, i=\overline{1,N-1}, j=\overline{2,M}, \qquad (6)$$

$$y_i^0=0, y_{t,i}^0=0, y_0^j=y_1^j, y_N^j=0, j=\overline{2,M}. \qquad (7)$$

Дополнительная информация: $y_0^j(p_i)=f^j, j=\overline{2,M}$.

б) Рассмотрим дискретный аналог функционала (4.5), например следующего вида:

$$J[p]=\tau\sum_{j=1}^{M}\left[y_0^j(p_i)-f^j\right]^2. \qquad (8)$$

$$\nabla J(p_i)=\tau\sum_{j=2}^{M-1} y_{\bar{t}t}\phi_i^{j-1}+\frac{1}{\tau}\left(\frac{\phi_i^2-\phi_i^1}{\tau}-\frac{\phi_i^1-\phi_i^0}{\tau}\right)\cdot y_i^1. \qquad (9)$$

4. Определение источника в цифровом формате для различных антенных блоков

Спектры трасс радарограмм (модуль значений частотного распределения сигнала) $\vartheta(r_0,0,\omega)$, эксперимента 1 с антенным блоком 1000 МГци эксперимента 2 с антенным блоком 400МГц представлен на рисунках 1 и 2.

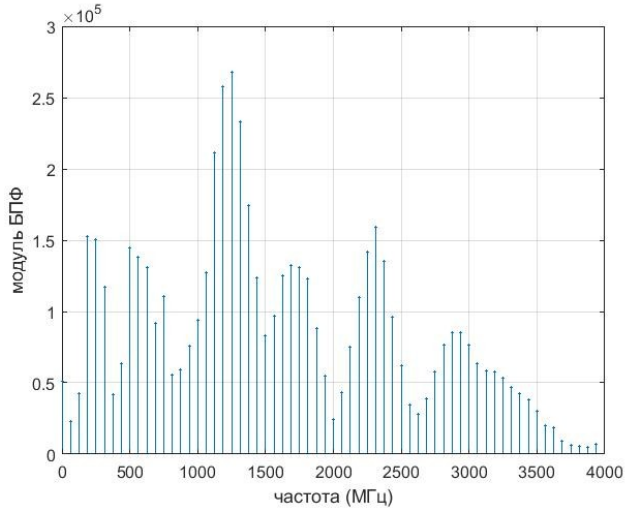


Рисунок 1. Спектр трассы радарограммы, по данным эксперимента 1 с антенным блоком 1000 МГц

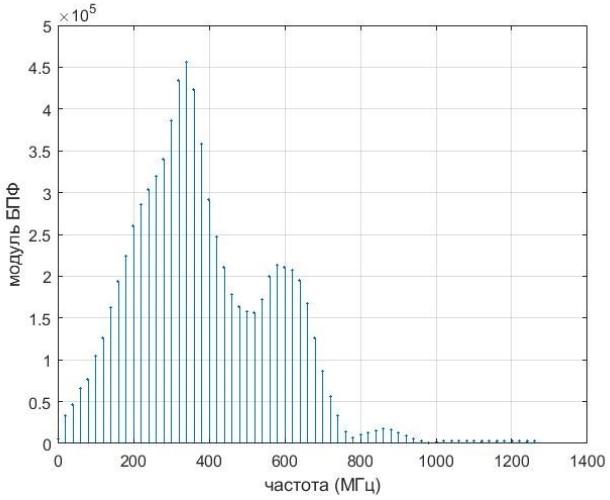


Рисунок 2. Спектр трассы радарограммы, по данным эксперимента 2 с антенным блоком 400 МГц

Имея спектры трассы радарограмм, используем формулу

$$\vartheta(r_0,0,\omega_i)=-\hat{g}(\omega_i)\int_0^\infty \frac{vJ_0(vr_0)}{\sqrt{v^2-(\omega_{i^2}\mu_0\varepsilon_1-i\omega_i\mu_0\sigma_1)}+\sqrt{v^2-\omega_{i^2}\mu_0\varepsilon_0}}dv, \quad i=1,\ldots,n/2 \quad (10)$$

Интеграл от комплексной функции в уравнении (10) представим в виде:

$$\int_0^\infty \frac{vJ_0(vr_0)}{\sqrt{v^2-(\omega^2\mu_0\varepsilon_1-i\omega\mu_0\sigma_1)}+\sqrt{v^2-\omega^2\mu_0\varepsilon_0}}dv=\int_0^\infty (p(v)+iq(v))dv=\int_0^\infty f(v)dv \quad (11)$$

Численный расчет интеграла (11) реализуется итерационным методом прямоугольников (или трапеции).

$$\int_0^{\infty} f(v)dv \approx h\sum_{j=0}^{\infty} f(v_j)$$

Суммирование производится с заданной точностью ε. $|f(v_j)|<\varepsilon$. При расчете использовались следующие параметры: $\varepsilon_0=1, \varepsilon_1=5, \mu_0=1, r_0=0.1, \sigma_1=1/500$.

Графики спектров источников сигналов антенных блоков 1000МГц и 400МГц представлены на рисунках 3 и 4.

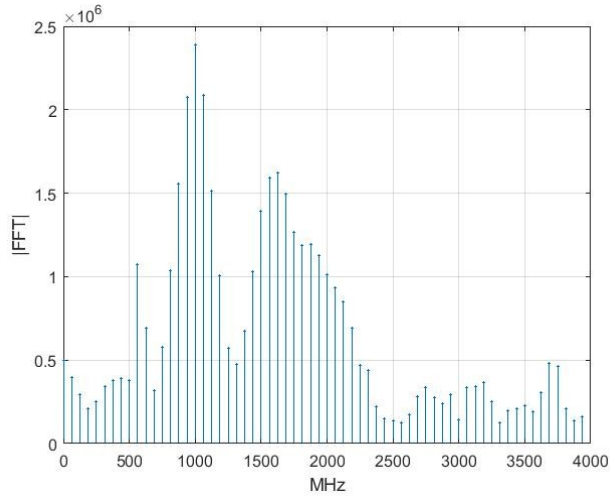


Рисунок 3. Спектр источника сигнала по данным эксперимента 1 с антенным блоком 1000 МГц

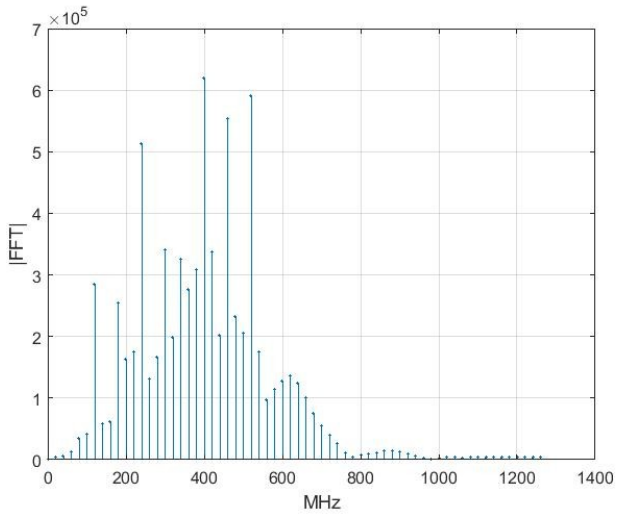


Рисунок 4. Спектр источника сигнала по данным эксперимента 2 с антенным блоком 400 МГц

Обратным преобразованием Фурье спектра *g(ω)* находим абсолютный сигнал источника (комплексный). Графики действительной части восстановленных источников сигналов антенных блоков 1000 МГЦ и 400 МГц. представлены на рисунках 5 и 6.

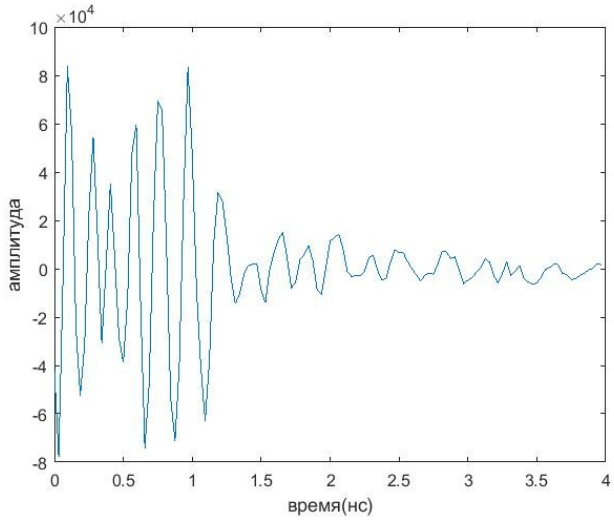


Рисунок 5. График восстановленного источника сигнала антенного блока 1000 МГц

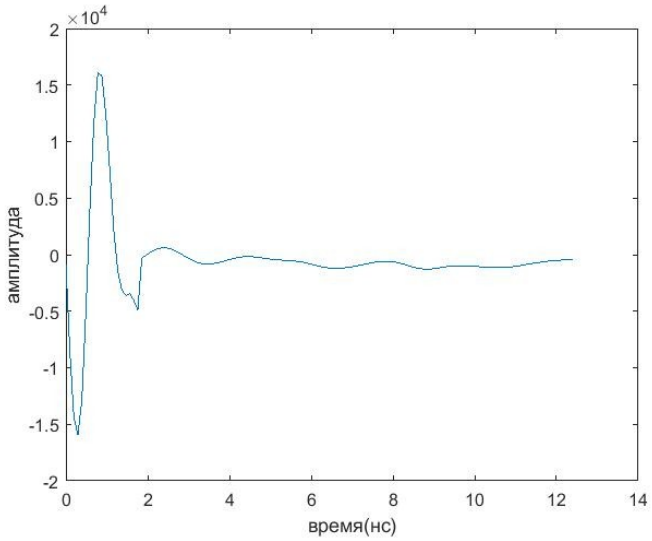


Рисунок 6. График восстановленного источника сигнала антенного блока 400 МГц

Вывод: как видно из полученных результатов расчета исходный сигнал передавшей антенны имеет широкий спектр (Рис. 3-4) и длительность зондирующего импульса составляет 0,5-4нс (Рис. 5-6).

Работа поддержана в рамках грантового финансирования МНВО РК 2023-2025 по проекту AP 19680361.

Литература

1. Владов М.Л. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие / М.Л. Владов А.В. Старовойтов. – М. : Изд-во МГУ, 2004. – 153 с.

2. Токсеит Д.К., Искаков К.Т., Боранбаев С.А. Интерпретации радарограмм геологического разреза на основе экспериментальных расчетных формул // Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом. - №9319 от 20 апреля 2020 года).

3. Рысбайулы Б., Адамов А.А. Сходимость и устойчивость приближенного метода решения задачи определения глубины промерзания земляного полотна // Доклады НАН РК. - 2005. - № 2. - С. 17-20.

4. Рысбайулы Б., Исмаилов А.О. Определение коэффициента теплопроводности однородного грунта в процессе промерзаний // Доклады НАН РК. - 2008. - №2. - С. 26-28.

5. Rysbaiuly B., Baymankulov A.T. Variational-difference method for determining the diffusion coefficient of soil water // International Journal of Academic Research. - 2010. - Vol. 2, № 3. - Pp. 84-91.

6. Rysbaiuly B., Akishev T.B. The calculation of the coefficient of heat capacity and heat transfer of multilayer ground by taking into account data from the Earth surface // Asian Journal of Natural & Applied Sciences. - 2012. - Vol. 1. - №1. – P. 5-17

7. Карчевский А.Л., Искаков К.Т., Оралбекова Ж.О., Мирзагаликызы Т. Формулы для численного решения прямой динамической задачи сейсмики в частотной области для горизонтально-слоистых сред // Вестник ЕНУ им.Л.Н.Гумилева. Спец.выпуск. – 2012. – С. 250-270.

8. Карчевский А.Л. Корректная схема действий при численном решении обратной задачи оптимизационным методом // Сибирские электронные математические известия. – 2008. – Т. 5, С. 609-619 // http://semr.math.nsc.ru/v5/p609-619.pdf

Искаков Казизат Такуадинович – д.ф.-м.н., профессор кафедры Компьютерной и программной инженерии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
kazizat@mail.ru

Боранбаев Самат Акшабаевич – старший преподаватель кафедры Компьютерной и программной инженерии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева
boranbaevsa@mail.ru

СЛУЧАЙНЫЕ ГИПЕРГРАФЫ В АНАЛИЗЕ НЕНАДЁЖНЫХ СЕТЕЙ

А.С. Родионов
e-mail: alrod@sscc/.ru
Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Аннотация. *В докладе рассматриваются методы ускорения расчёта и оценки различных показателей надежности случайных гиперграфов применительно к анализу больших распределённых сетей, в частности энергетических. В основном рассматриваются сети, в которых узлы являются надежными, а гиперребра могут выходить из строя независимо с заданными вероятностями. Рассматриваются вероятность соединения всех узлов (ATR, всетерминальная надежность), вероятность соединения выбранной пары узлов (парная связность, s-t связность), математическое ожидание числа узлов в компоненте связности, содержащей выделенную (центральную) вершину (MENC). Все эти характеристики надежности хорошо известны для случайных графов, тогда как их исследования для случайных гиперграфов отсутствуют либо редки. В то же время это имеет большое значение для анализа и оптимизации многих типов современных сетей, таких как беспроводные и энергетические сети, сети мониторинга, социальные сети.*

Введение

Случайные графы (СГ) с надежными вершинами и ненадежными ребрами как модель сетей различного назначения изучаются многими авторами на протяжении нескольких десятилетий [1-6], получено множество теоретических результатов, разработаны многочисленные алгоритмы анализа и структурной оптимизации.

В то же время случайные гиперграфы (СГГ) во многих случаях являются более адекватной моделью, хорошими примерами являются энергетические, радио, экономические и социальные сети. Недавняя статья [7] является хорошим примером такого исследования, но в ней рассматриваются только гиперграфы с одинаковой надежностью ребер и исследуется применение метода Монте-Карло для аппроксимации всетерминальной надежности (ATR). Некоторые результаты исследований, касающихся СГГ, представлены в [8], но рассматривается только особый тип трехдольных гиперграфов.

Побудительной причиной исследования модели СГГ являются определённые недостатки использования СГ, выражающиеся в одних случаях в чрезмерном насыщении исследуемых графовых структур рёбрами, когда имеются кластера, в которых каждый узел связан с каждым, в других случаях в необходимости введения дополнительных характеристик узлов, показывающих их принадлежность некоторым классам. Использование гиперграфов позволяет делать модели более наглядными, хотя при этом могут теряться некоторые тонкие взаимосвязи узлов, принадлежащих одному гиперребру.

В докладе мы исследуем точные методы расчета различных показателей надежности и получения их точных границ.

Как и в наших работах по показателям надежности РГ [9-11], мы рассматриваем методы расчета ATR и APC. Последнее можно получить разными способами: а) вычислив вероятность связности для всех пар узлов или б) получив математическое ожидание числа связанных пар узлов (ECP) и затем разделив его на общее количество узлов. Как показано в [12], выражения для ECP во многих случаях получить сложнее, чем выражения для его

добавления к общему числу пар узлов, математическому ожиданию числа несвязных пар узлов (EDP), что является одной из рассматриваемых тем.

В основном мы рассматриваем случай гиперграфов с надежными узлами и ненадежными гиперребрами (далее для кратности мы называем их просто ребрами), которые могут выходить из строя независимо друг от друга. Как и в случае с моделью случайных графов, мы пытаемся найти разные способы уменьшения размерности задачи, то есть возможные редукции и декомпозиции СГГ. Будем считать, что в случае, когда все ребра надежные, СГГ связен.

Для кратности в тексте гиперрёбра называем просто рёбрами. Если необходимо подчеркнуть, что ребро соединяет только две вершины, будем называть его *простым ребром*.

1. Случайные гиперграфы как модели сетей

Как отмечалось во введении, СГГ могут описывать связность различных групп узлов в сетях разной природы.

1.1. Социальные сети

В социальных сетях пользователи, как правило, регистрируются в различных группах: по интересам, родственным либо производственным связям и т.д. Кроме этого принадлежность к группам может задаваться и без личной инициативы пользователя. Например, в сети «Одноклассники (ok.ru)» при регистрации пользователь может указывать образовательное учреждение, место работы, город и пр., при этом автоматически попадая в соответствующую группу, используемую для поиска и идентификации. Группы естественным образом пересекаются по этому пользователю.

1.2. Сети соавторства и цитирования

Авторы научных публикаций могут попадать в группы по признаку цитирования одной и той же публикации, а также по соавторству в публикациях. Также можно рассматривать группы по публикациям в конкретных журналах и издательствах.

1.3. Энергетические сети

Потребители электроэнергии образуют большие группы по отношению к генерирующим компаниям, меньшие по отношению к конкретным генерирующим предприятиям (ГЭС, АЭС, ТЭС и пр.), ещё меньшие по отношению к распределительным подстанциям. При этом, для повышения надёжности электроснабжения, энергетические сети соединяются для возможности переключения потоков энергии как при естественных колебаниях, связанных со сменой времени суток, так и в случае возникновения аварийных ситуаций.

2. Связность случайных гиперграфов с ненадёжными рёбрами

Удаление ребра может быть вызвано разными причинами в соответствии с природой моделируемой сети. Так, социальная группа может закрыться (распуститься), публикация может быть признана плагиатом и удалена из библиотеки, электрическая подстанция может быть остановлена на профилактику либо на ней произойдёт авария и т.п.

Рассмотрим задачу вычисления вероятности связности всех вершин (ATR) СГГ в случае надёжных вершин и ненадёжных рёбер, независимо отказывающих (удаляемых из СГГ).

В общем случае эту вероятность можно получить рассмотрением всех возможных состояний СГГ:

$$R(HG) = \sum_{H \in \Gamma} P(H) I(H), \qquad (1)$$

где Г – множество всех возможных реализаций, $I(H)$ – индикаторная функция связности:

$$I(H) = \begin{cases} 1 & \text{если гиперграф } H \text{ связен,} \\ 0 & \text{иначе.} \end{cases}$$

Очевидно, подобный перебор невозможен для хоть сколько-нибудь больших СГГ: число реализаций равно 2^m, где m – число рёбер.

2.1. Редукция размерности СГГ при вычислении его ATR

Рассмотрим некоторые приёмы редукции размерности СГГ.

В общем случае мы имеем деление всех узлов между ребрами, и каждый узел может принадлежать произвольному числу ребер. Назовём это число степенью узла.

В гиперграфе любая пара смежных ребер E_i и E_j пересекается по некоторому набору узлов $W_{ij} = V(E_i) \bigcap V(E_j)$. Если узел v имеет степень больше 2, то он принадлежит подмножеству $S(v) = \bigcap_{e \in E(v)} V(E).$

Правило 1. Все узлы в $S(v)$ неразличимы с точки вычисления ATR и могут быть заменены одним совместным псевдоузлом v^* (см. Рис. 1).

Каждое ребро e может содержать несколько таких псевдоузлов, которые связаны с вероятностью p_e этим ребром, но могут быть также связаны путями через другие ребра.

Таким образом, после объединения всех $S(v)$ в псевдоузлы мы имеем задачу ATR в случайном гиперграфе меньшей размерности.

Правило 2. Каждое ребро, инцидентное хотя бы одному узлу степени один, должно принадлежать любой связной реализации СГГ. Это правило очевидно. Оно позволяет уменьшить количество реализаций RHG в случае полного перебора, иногда значительно (см. Рис. 1).

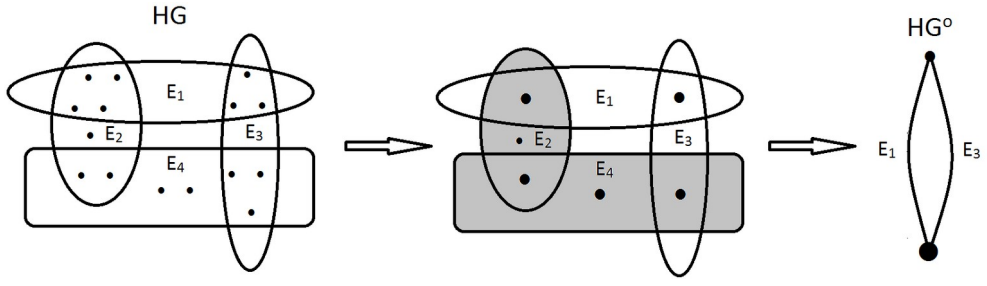


Рисунок *1*. Редукция СГГ путем применения правил 1 и 2

На рисунке 1 мы видим пример применения правил 1 и 2 и редуцированный гиперграф, надежность которого теперь является целью вычислений. В этом примере

$$R(HG) = p_2 p_4 R(HG^o) = p_2 p_4 (p_1 + p_3 - p_1 p_3).$$

В случае нескольких ребер $E_i, i = 1,\cdots,k$, которые покрывают одно и то же подмножество узлов (например, E_2 и E_5 на Рис.1, мы заменяем их одним ребром с надежностью

$$\mathbf{p} = 1 - \prod_{i=1}^{k}(1 - p_i). \qquad (2)$$

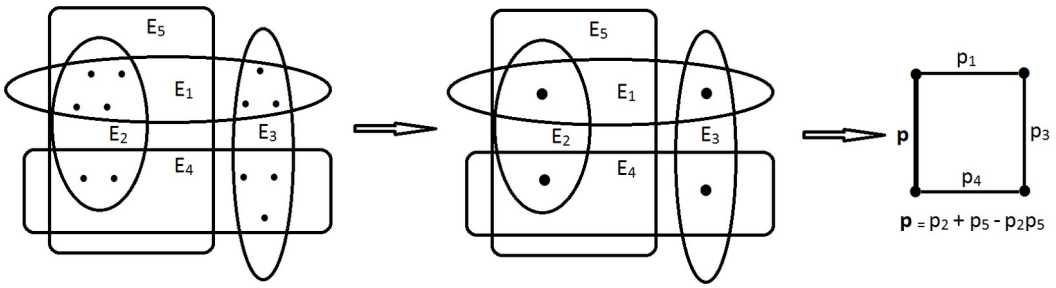


Рисунок *2*. Редукция СГГ в случае отсутствия рёбер с собственными вершинами (вершинами степени 1)

2.2. Процесс факторизации при вычислении ATR гиперграфа

Подобно использованию метода факторизации при получении ATR случайного графа [11,12], мы можем использовать его для получения ATR случайного гиперграфа:

$$R(HG) = p_E R(HG / E) + (1 - p_E) R(HG \setminus E), \qquad (3)$$

где E – произвольное гиперребро (ребро) с надежностью p_E в СГГ HG, HG/E — гиперграф, полученный из HG путем слияния всех узлов в E в один, в то время как $HG\setminus E$ — гиперграф, полученный из HG путем удаления E.

Выбор ребра для факторизации имеет большое значение. Сначала рассмотрим порядок рассмотрения перекрывающихся ребер.

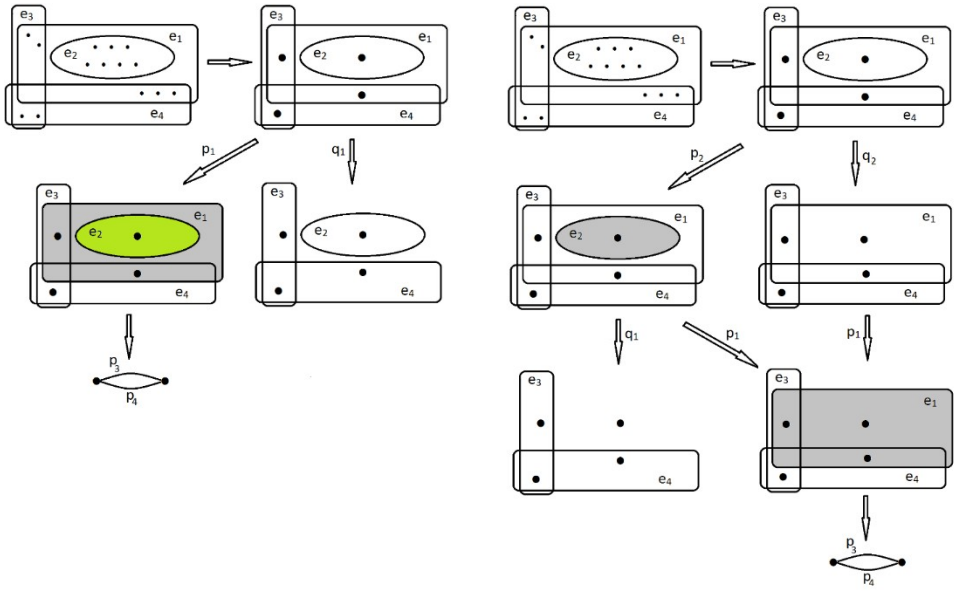


Рисунок *3*. Выбор ребра для факторизации по Правилу 3

Правило 3. Если есть пара ребер E_1 и E_2, такая, что $V(E_1) \supset V(E_2)$, при выборе ребра для факторизации предпочтение следует отдать ребру E_1, так как это уменьшает количество рассматриваемых состояний СГГ. В случае цепочки вложений факторизация должна начинаться с самого внешнего ребра. Рисунок 4 иллюстрирует это правило. В первом случае на рисунке мы применяем Правило 3, во втором используем альтернативный, менее эффективный порядок выбора ребра.

В первом случае имеем

$$R(HG) = p_1(p_3 + p_4 - p_3 p_4), \tag{4}$$

во втором –

$$R(HG) = p_2 p_1 + q_2 p_1 (p_3 + p_4 - p_3 p_4) = p_1(p_3 + p_4 - p_3 p_4). \tag{5}$$

Мы получаем тот же результат, но используя больше операций.

Следующее достаточно очевидное правило – выбор рёбер, позволяющих максимальное снижение размерности хотя бы по одной ветви факторизации.

Правило 4. Если есть некоторые ребра E_i, такие, что они имеют хотя бы один узел со степенью 2, то наилучшим выбором одного из них для факторизации является ребро с максимальным количеством таких узлов. Причина в том, что после его удаления мы получаем максимальное количество ребер с узлами со степенью 1, которые позволяют применить Правило 1. Пример приведён на рисунке 5.

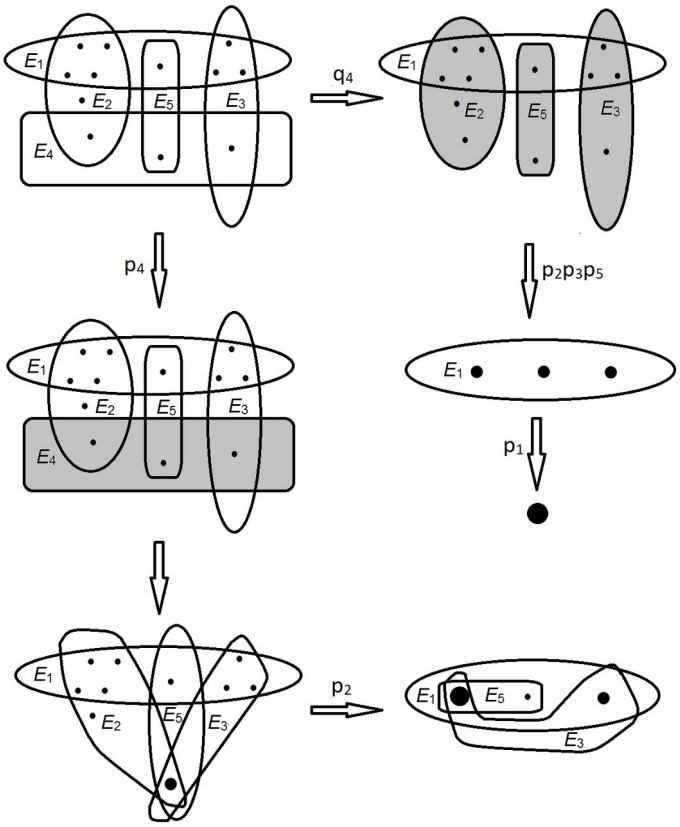


Рис. *4*. Применение Правила 4

Поскольку процесс факторизации продолжается до получения структур, которые позволяют напрямую вычислять ATR, перейдём к рассмотрению примеров таких структур или структур, которые позволяют более быстрый путь к ним.

Таким образом, мы можем получить значительное уменьшение СГГ до начала расчета его ATR. В этом гиперграфе многие ребра могут стать простыми, соединяющими только пары узлов. Рассмотрим случай, когда некоторые гиперребра остаются. На Рис. 3 представлен пример, когда после редукции СГГ остаются два гиперребра, соединенные несколькими простыми ребрами. Этот пример обсуждается в следующем разделе.

2.3. Структуры СГГ, позволяющие непосредственное получение ATR

Прежде всего это случай, когда все мультирёбра превращаются в простые, т.е. соединяют только пары вершин. Это позволяет перейти к расчёту ATR случайного графа, для чего имеются известные алгоритмы и программные средства.

Рассмотрим два случая, относящиеся к СГГ с наличием простых рёбер.

Пусть в результате редукции получен гиперграф с одним гиперребром и вершиной, соединённой с вершинами этого гиперребра простыми рёбрами (Рисунок 5).

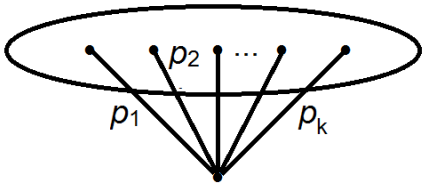


Рис. 5. Гиперребро и вершина

Если СГГ состоит из одного гиперребра с k узлами и надежностью p_0, и узла, который связан со всеми из них (см. Рис. 5), то мы имеем очевидное

$$R(HG) = p_0 \left[1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - p_i) \right] + (1 - p_0) \prod_{i=1}^{k} p_i . \quad (6)$$

Если же у нас есть пара гиперребер с надёжностями ρ_1 и ρ_2, которые соединены m простыми рёбрами, не образующими дерево и имеющими надёжности $p_1,p_2,\ldots,p_m$, и распределены между некоторыми (может быть одним) $k \le m$ деревьями T_i, каждое из которых имеет s_i, i=1,…,k рёбер, то у нас есть следующие возможности:

- оба гиперрёбра надёжны;
- одно гиперрёбро надёжно, другое нет;
- оба гиперрёбра ненадёжны.

В первом случае для связности достаточно существования любого простого ребра, во втором случае хотя бы одно простое ребро в связном подмножестве из них должно быть надёжным, в последнем случае все простые ребра должны быть надёжными. Таким образом, имеем

$$R(HG) = \rho_1\rho_2 + [\rho_1(1 - \rho_2) + (1 - \rho_1)\rho_2] \prod_{i=1}^{k} \left[1 - \prod_{e \in T_i} (1 - p_e) \right] + \prod_{i=1}^{m} p_i . \quad (7)$$

Есть два крайних случая: все простые ребра соединены в дерево, и все эти ребра несмежны.

В первом случае имеем

$$R(HG) = \rho_1\rho_2 + [\rho_1(1 - \rho_2) + (1 - \rho_1)\rho_2] \left[1 - \prod_{i=1}^{k} (1 - p_i) \right] + \prod_{i=1}^{m} p_i , \quad (8)$$

и во втором случае

$$R(HG) = \rho_1\rho_2 + (1 - \rho_1\rho_2) \prod_{i=1}^{m} p_i .$$

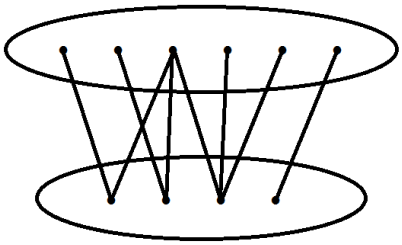


Рис. 6. Пара гиперрёбер, соединённых простыми рёбрами

3. Парная связность и связанные с ней показатели

Парная (s–t) связность ($R_{st}(HG)$), или связность выделенной пары вершин, имеет как самостоятельный интерес, так и служит основой для двух важных показателей связности сетей. Первый из них – это вероятность установления произвольного парного соединения в сети с ненадёжными связями, APC. Этот показатель рассчитывается как среднее арифметическое вероятностей связности всех пар вершин либо как доля связных пар, для

чего разработаны специальные алгоритмы [8]. Другой важный показатель, основанный на *s –t* связности, это математическое ожидание числа вершин, связанных с некоторой выделенной (центральной) вершиной. Этот показатель (обозначим как $\mathbb{C}(HG)$) характеризует качество сетей мониторинга: в качестве центральной вершины выступает обрабатывающий компьютер, тогда как остальные вершины соответствуют датчикам. Для простоты полагаем, что центральная вершина имеет номер 1 и абсолютно надёжна. Основная формула вычисления показателя имеет вид

$$\mathbb{C}(HG) = 1 + \sum_{i=1}^{n} R_{0i}(HG). \qquad (10)$$

Все рассмотренные выше правила редукции СГГ и ускорения расчётов также применимы при вычислении парной связности. Необходимо лишь иметь ввиду, что при применении Правила 1 в случае задействования центральной вершины, новая объединённая вершина сама становится центральной. При этом все объединённые вершины приобретают веса, соответствующие количеству объединённых вершин. Тогда формула (10) принимает вид

$$\mathbb{C}(HG) = w_0 + \sum_{i=1}^{n} R_{0i}(HG) w_i. \qquad (11)$$

Заключение

В представленном докладе мы обсудили возможное ускорение вычисления некоторых показателей связности случайного гиперграфа. Показано, что, применяя некоторые правила, можно существенно уменьшить размерность RHG в случае их вычисления. Мы предлагаем порядок выбора гиперрёбер в процессе факторизации в случае их пересечения. Наши дальнейшие исследования касаются применения аналогичной методики к вычислению других показателей надежности и других функций случайных гиперграфов, организации параллельных вычислительных процессов и использования предлагаемой методики для получения кумулятивных оценок показателей надежности.

Работа выполнена при поддержке Проекта ИРН AP23490529.

Литература

1. Colbourn, C. J. The Combinatorics of Network Reliability / Oxford University Press: N.Y., 1987. – 160 p.
2. Jereb, L. Network reliability: models, measure and analysis // Proceedings of the 6th IFIP Workshop on Performance Modeling and Evaluation of ATM Networks, 1998, pp. T02/1–T02/10.
3. Lucet, C. and Manouvrier, J.-F. Statistical and Probabilistic Models in Reliability / Birkhäuser Boston. – Boston, MA, 1999, ch. Exact Methods to Compute Network Reliability, pp. 279–294.
4. Shooman, A.M. Algorithms for network reliability and connection availability analysis // Electro/95 International. Professional Program Proceedings, – 1995, pp. 309 –333.
5. Hofstad, R.V.D. Random Graphs and Complex Networks // Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics. Cambridge University Press, 2016, Vol. 1. – 321 p.
6. Cen, R., Li, J. and Panigrahi, Hypergraph unreliability in quasi-polynomial time // 2024. – https://api.semanticscholar.org/CorpusID:268724009 (21.08.2024)

7. Ghoshal, G. Zlatić V., Caldarelli, G. and Newman, M. E. J. Random hypergraphs and their applications // Phys. Rev. E, Vol. 79, p. 066118, Jun 2009. – https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevE.79.066118 (20.08.2024)
8. Rodionov, A.S. and Rodionova, O.K. Exact bounds for average pairwise network reliability // Proc. of the 7th Int. Conf. on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC ’13, Kota Kinabalu, Malaysia – January 17–19, 2013. – ACM. – 2013. – P. 45–51. – http://doi.acm.org/10.1145/2448556.2448601 (5.10.2024).
9. Rodionov, A.S., Migov, D.A. New Advantages of Using Chains in Computing Multiple s−t Probabilistic Connectivity // Springer LNCS, Vol. 9787, – P. 117–128, –https://doi.org/10.1007/978-3-319-42108-7 9 (5.10.2024).
10. Rodionov, A.S., Migov, D.A. Obtaining and Using Cumulative Bounds of Network Reliability // System reliability, Volencu, C., Editor. – 2017, pp. 93–112. –http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.72182 (5.10.2024).
11. Satyanarayana, A. and Chang, M.K. Network reliability and the factoring theorem // Networks . – 1983. – Vol. 13, no. 1. – P. 107–120. – http://dx.doi.org/10.1002/net.3230130107 (5.10.2024).
12. Page, L. and Perry, J. A practical implementation of the factoring theorem for network reliability // Reliability, IEEE Transactions on . – 1988. – Vol. 37, no. 3. – P. 259–267.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАСПЛАВА СВАРОЧНОЙ ВАННЫ С УЧЕТОМ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ КОНВЕКЦИИ

Дж.О. Усенканов, Н.М. Бакирова
Кыргызский национальный университет имени Ж. Баласагына,
Кыргызская Республика
e-mail: juma_21@mail.ru; b.nurzat89@gmail.com

Аннотация. *На основе системы магнитогидродинамических уравнений, включающих в себя уравнения непрерывности среды, движения электродуговой плазмы, баланса энергии и уравнений электродинамики проводились численные расчеты взаимодействия столба электрической дуги с плавящимся анодом. По результатам исследований установлено, что наряду с магнитными силами, в движении расплавленного металла сварочной ванны существенную роль играют силы термокапиллярной конвекции.*

Постановка задачи

В процессе электродуговой сварки электрический ток проходит через жидкий металл сварочной ванны и взаимодействует с магнитным полем, созданным в сварочной ванне током, протекающим через ванну. Качество формирования шва при дуговой сварке во многом определяется воздействием плазменных потоков дуги на поверхность сварочной ванны. Поэтому взаимодействие электрической дуги с электродами плазменного устройства представляет существенный интерес. Это взаимодействия определяются приэлектродными процессами, которые отличаются сложностью и многообразием протекающих в них физических явлений.

При изучении взаимодействия столба электрической дуги с плавящимся анодом (сварочной ванной) было сделано следующее основное упрощение – передача тепла в анод осуществляется за счет кондуктивного потока тепла поступающий со стороны столба дуги. Такое предположение позволяет производить совместный расчет в столбе дуги и в аноде на основе одной и той же системы магнитогидродинамических (МГД) уравнений. Анализ МГД- уравнений применительно к условиям электродугового разряда приводится в работе [1]. Поведение жидкого металла также можно описать МГД уравнениями. В работе [60] полагают, что жидкий металл является упорядоченной системой заряженных частиц и может рассматриваться как плотная плазма; эти особенности строения и взаимодействия и определяют методы исследования жидких металлов, опирающиеся на теорию электронной ферми - жидкости, теорию классической однокомпонентной плазмы и теорию простых жидкостей.

Система МГД уравнений включает в себя:

уравнение непрерывности

$$¿(\rho\vec{v})=0; \tag{1}$$

уравнения движения

$$\rho(\vec{v}\,grad)\vec{v}=\rho\vec{g}+\vec{E}\div\vec{D}+\vec{j}\times\vec{B}-grad\left(P+\frac{2}{3}\mu div\,\vec{v}\right)+2\div(\mu\dot{S}); \tag{2}$$

уравнение энергии:

$$\rho\vec{v}\,grad\left(h+\frac{1}{2}v^2\right)=\vec{j}\vec{E}-q-\vec{v}\,gradP+¿\left(2\mu\vec{v}\dot{S}-\frac{2}{3}\mu div\,\vec{v}+\frac{\lambda}{c_p}grad\,h\right); \tag{3}$$

уравнения Максвелла

$$rot\,\vec{E}=0,\ rot\,\vec{H}=\vec{j},\ ¿\vec{B}=0; \tag{4 – 6}$$

закон Ома

$$\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B}=\frac{\vec{j}}{\sigma};\qquad(7)$$

материальные уравнения электродинамики

$$\vec{B}=\mu\mu_0\vec{H},\quad \vec{D}=\varepsilon\varepsilon_0\vec{E}.\qquad(8)$$

Система (1 - 8) дополняется соотношениями, учитывающими нелинейную зависимость свойства среды и термодинамических функций от температуры:

$$\sigma=\sigma(T),\ \lambda=\lambda(T),\ \mu=\mu(T),\ \rho=\rho(T),\ \psi=\psi(T),\ c_p=c_p(T),\ h=h(T);\qquad(9)$$

В (1-9) использованы следующие обозначения: $\vec{v}$- вектор скорости; P -давление, T - температура плазмы, $\vec{g}$- вектор ускорения свободного падения, $\vec{j}$ -плотность тока, $\vec{E}$ - вектор напряженности электрического поля, $\vec{H}$ -вектор напряженности магнитного поля, $\vec{B}$ -вектор магнитной индукции, $\vec{D}$ -вектор электрической индукции, m_0 -магнитная постоянная, e_0 -электрическая постоянная, ρ -плотность плазмы, c_p-теплоемкость при постоянном давлении, μ -вязкость, λ -коэффициент теплопроводности, ψ -излучательная способность, σ -электропроводность, h -энтальпия, S - тензор скоростей деформации с компонентами:

$$S=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k}+\frac{\partial v_k}{\partial x_i}\right),$$

v_i, v_k- компоненты вектора $\vec{v}$, x_i, x_k - координаты; i, k = 1, 2, 3. Конкретный вид тензора скоростей деформации зависит от используемой системы координат.

При записи расчетной математической модели предполагается: течение осесимметричное, ламинарное; плазма оптически тонкая; перенос тепла в жидком металле за счет излучения не учитывается; нагрев плазмы и жидкого металла происходит за счет джоулева тепловыделения; плазма и жидкий металл ускоряются как силами давления, так и магнитными силами Лоренца.

На границе плазмы и жидкого металла предполагаются выполнение следующих условий. Между поверхностью металла и радиально растекающимся у его поверхности потоком плазмы происходит вязкое взаимодействие $\mu_p\frac{\partial v_p}{\partial z}=\mu_l\frac{\partial v_l}{\partial z}-\frac{\partial\alpha}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial T}$, где знак p -относится к плазме, l - к расплавленному металлу, μ -коэффициент динамической вязкости контактирующих сред, α - коэффициент поверхностного натяжения жидкого металла, которая зависит от температуры T; из-за наличия градиента температуры в радиальном направлении на поверхности жидкого металла действует сила термокапиллярной конвекции (конвекция Марангони) - $\frac{\partial\alpha}{\partial r}\frac{\partial r}{\partial T}$; тепло со стороны дуги в плавящийся анод

передается за счет кондуктивной компоненты $\lambda_p \frac{dT_p}{dz} = \lambda_l \frac{dT_l}{dz}$; для электрического тока $\sigma_p \vec{E}_p = \sigma_l \vec{E}_l$

Постановка граничных условий задачи производится в соответствии с физическими условиями.

Результаты расчетов

По предложенной математической модели совместного рассмотрения процессов в электрической дуге и сварочной ванне на основе МГД-уравнений. были проведены численные исследования характеристик электрической дуги сварочной ванны. Электрод представляется в виде цилиндра с плоским торцом, процесс образования и переноса капель электродного материала в сварочную ванну обрабатываемого изделия не учитывается. В качестве обрабатываемого изделия рассматривается бесконечная алюминиевая пластина.

Основными механизмами движения сварочного расплава могут быть следующие поверхностные и объемные силы:

- вязкие силы между радиально растекающимся у поверхности металла потоки плазмы и жидким металлом;
- тепловая конвекция, возникающая в неравномерно нагретых жидкостях в поле силы тяжести;
- термокапиллярная конвекция, возникающая на поверхности жидкости;
- собственное магнитное поле протекающего через металл электрического тока.

В соответствие с вышесказанным были проведены расчеты по определению их роли в движении жидкого металла. Результаты расчетов приведены ниже.

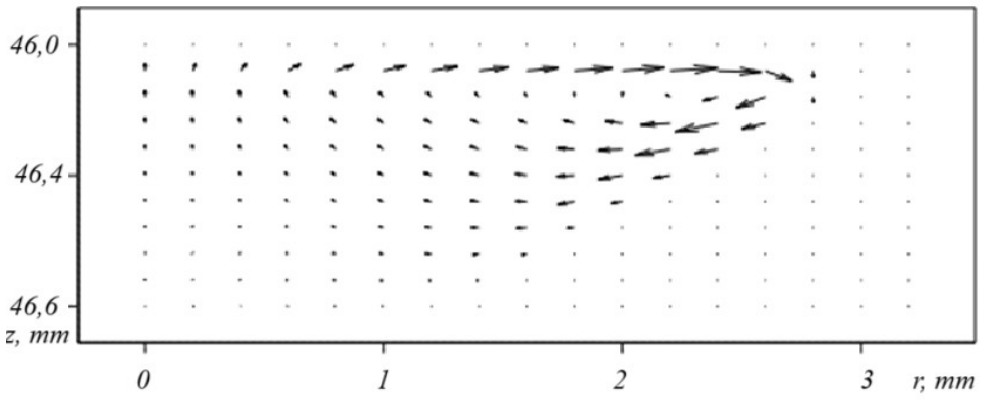


Рисунок 1. Векторное поле скоростей течения жидкого металла сварочной ванны при учете только вязкого взаимодействия на границе «плазма-жидкий металл», I=150А

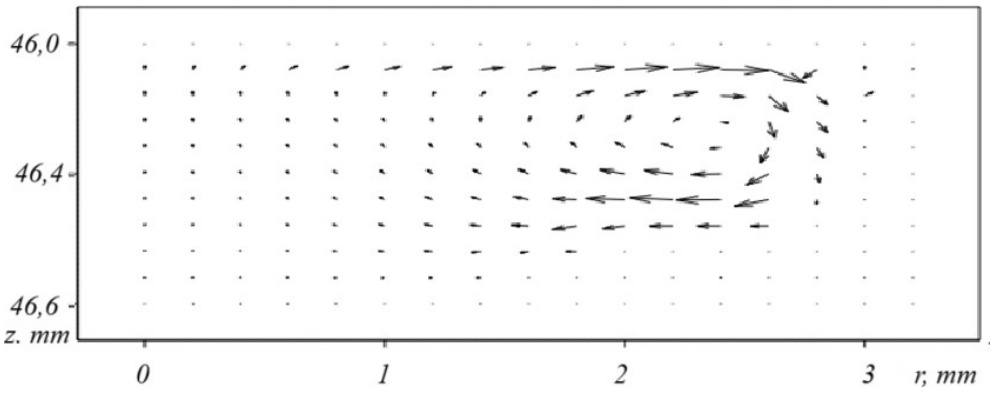


Рисунок 2. Векторное поле скоростей течения жидкого металла сварочной ванны при учете сил поверхностного натяжения на границе «плазма-жидкий металл», I=150А

Для выяснения роли поверхностных сил были проведены расчеты с учетом вязкого взаимодействия плазмы и жидкого металла и собственного магнитного поля в расплаве. (рис. 1). Действие этих сил приводит к появлению тороидального вихревого потока в расплаве; причем, если судить по направлению вращения вихря и распределению скорости у поверхности расплава, поверхностные силы гораздо мощнее сил магнитного поля, которые действуют в приосевой области. Максимальные значения радиальной скорости достигает 15 м/с.

В случае учета еще и термокапиллярной конвекции картина течения несколько меняется (рис.2): тороидальный вихрь становится мощнее, на периферии расплава появляется маленький вихрь, конвективный теплоперенос в котором приводит к увеличению радиальных размеров расплава.

На рис. 3 представлены результаты расчета без учета вязкого взаимодействия поверхности расплава с потоками плазмы и без учета термокапиллярной конвекции, когда движение расплава обусловлено только собственными магнитными силами и силами естественной конвекции. Течение расплава меняет направление, вращение тороидального вихря противоположно двум предыдущим вихрям. Мощность вихря уменьшается, его центр смещается ближе к оси. Как и ожидалось идет прокачка расплава магнитными силами, протекающего через расплав, электрического тока. Естественная конвекция слабо влияет на течение. К такому выводу приводит и распределение изолиний электрического тока, протекающего в столбе дуги и в жидком металле (рис. 4). Распределение линий электрического показывает, что при переходе из столба дуги в жидкий металл анода, происходит поджатие линий к осевой зоне.

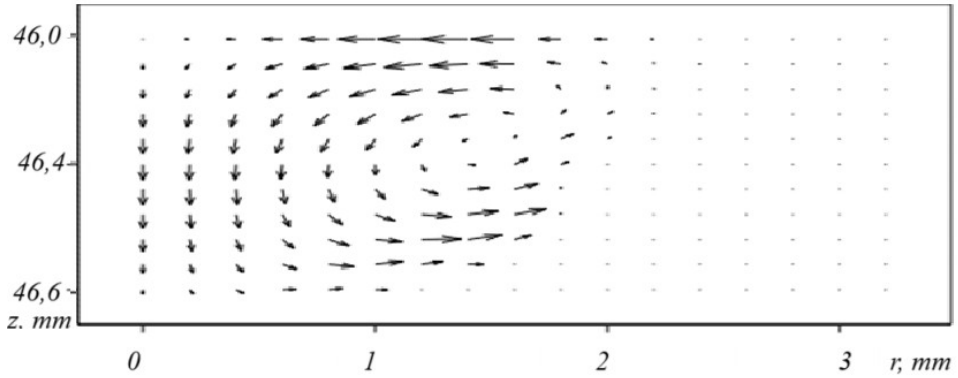


Рисунок 3. Векторное поле скоростей характер течения жидкого металла сварочной ванны при свободной поверхности расплава, I=150А

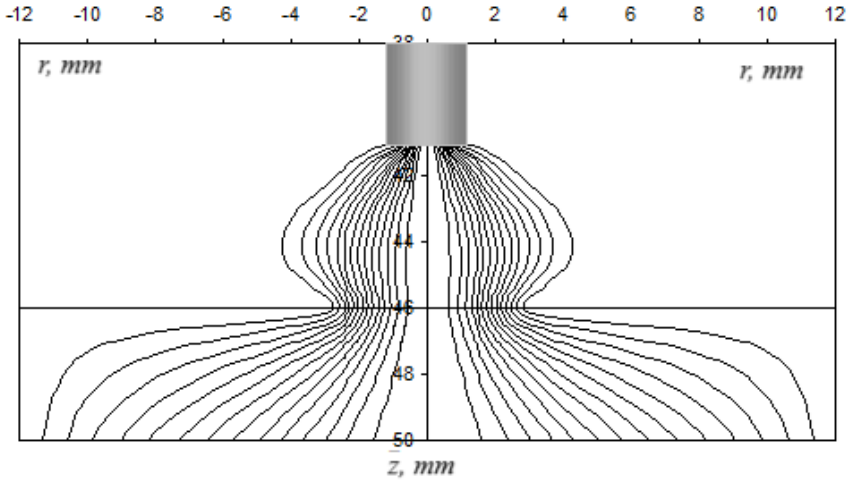


Рисунок 4. Характерные изолинии электрического тока, I=150A

В теле анода линии тока распределены по всему объему и растекаются от поверхности вниз приобретая своеобразную колоколообразную форму. Такое распределение приводит к появлению магнитных сил, направленных вдоль оси расплава сверху вниз.

В электрических дугах с плавящимся электродом имеют «пальцеобразную» форму проплавления. Сравнение с экспериментальными данными (Паханьян Д.М., Завод ВТУЗ, Ростов-на-Дону, кафедра сварки, 1987 г.) показывает хорошее соответствие с результатами расчетов (Рисунок 5). В экспериментах не удавалось объяснить характерную форму сварочной ванны. Предполагали, что причина заключается в более эффективной передаче теплоты от дуги и перегретых капель электродного металла на дно сварочной ванны в результате уменьшения толщины жидкой прослойки в месте непрерывных ударов капель о ее поверхность. В предложенной математической модели рассматривается электрическая дуга с неплавящимся электродом. По результатам численных исследований можно утверждать, что такая форма сварочной ванны является результатом действия сил термокапиллярной конвекции.

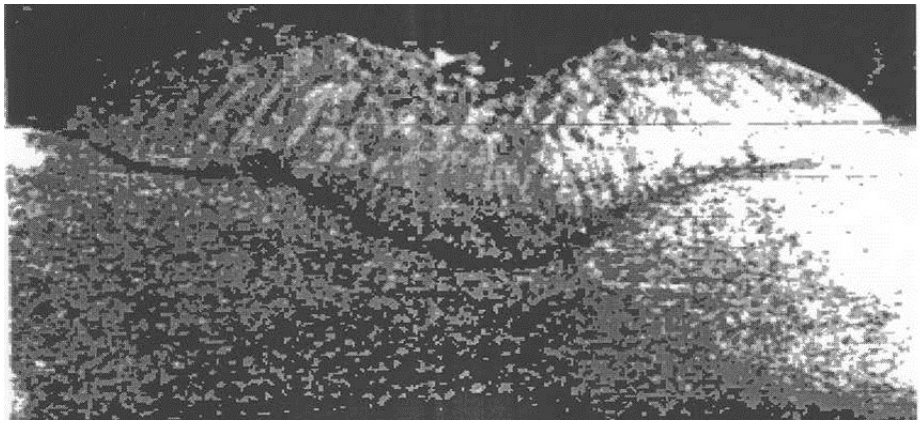


Рисунок 5. Срез сварочного шва, I=150A

Выводы

Вязкое взаимодействие потоков плазмы и жидкого металла на поверхности анода является определяющим для течения расплавленного металла. Термокапиллярная конвекция усиливает действие сил вязкости и приводит к более сильному проплавлению металла анода по объему; за счет образования вихря на периферии увеличивает радиальные размеры сварочной ванны и образуется характерная форма сварочной ванны.

В отсутствии вязкого взаимодействия и термокапиллярной конвекции собственные электромагнитные силы из верхней части сварочной ванны прокачивают в приосевой зоне жидкий металл. в аксиальном направлении. Эти силы гораздо меньше вязких сил.

Литература

1. Жуков М.Ф., Коротеев А.С., Урюков Б.А. Прикладная динамика термической плазмы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975, с.298.
2. Коваленко Н.П., Красный Ю.П. Статистическая теория жидких металлов. - М.: Наука, 1990, с. 198.
3. Usenkanov Dzh. O. Calculation system of magnetohydrodynamic equations for curved interphase boundaries. V Congress of the Turkic world mathematicians. Kyrgyzstan, Issyk-Kul, 5-7 June, 2014. P. 258
4. Усенканов Дж. О., Сейталиева С.Ч. Акмолдоева С.Б. Тепловые потоки сварочного плазматрона. Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, № 28, с. 508-511. Бишкек 2014.

Усенканов Джумабай Осмонбекович – заведующий кафедрой теоретической и общей физики, Кыргызский национальный университет имени Ж. Баласагына, Кыргызская Республика; e-mail: juma_21@mail.ru

Бакирова Нурзат Медеткановна, преподаватель кафедры теоретической и общей физики, Кыргызский национальный университет имени Ж. Баласагына, Кыргызская Республика; b.nurzat89@gmail.com

МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ

С.В. Мальцева[1], П.В. Голубцов[2]
[1]Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия
[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоновоса, Россия
e-mail: smaltseva@.hse.ru, golubtsov@physics.msu.ru

Аннотация. *Рассматриваются вопросы использования оценки интенсивности информационных потоков для макроуровневого наблюдения за самоорганизующейся сетевой производственной системой, в которой холонная архитектура интегрирована с многоагентной системой. Представлено три типа численных моделей и результаты их использования для оценки сетевой активности при различных параметрах модели, проведены экспериментальные исследования механизмов обеспечения устойчивости в сетевых структурах.*

Современные производственные системы включают разнообразное интеллектуальное оборудование, используют сложные распределенные процессы обработки, межмашинное и человеко-машинное взаимодействие. Они ориентированы на постоянную адаптацию к изменяющимся внешним условиям и на современные концепции устойчивого производства: бережливое производство, чистое производство и другие.

Эти системы являются распределенными, автономными, адаптивными, основаны на самоорганизации. Производственные структуры являются менее жесткими и могут динамически реконфигурироваться. Эти свойства заложены в основные метрики оценки таких систем [1]:

- *гибкость*, характеризующая быстроту реакции на непредсказуемые события;
- *адаптивность* при обеспечении обработки различных, в том числе сложных изделий;
- *эффективность* при использовании ресурсов;
- *способность к реорганизации*, к изменению топологии системы для создания новых функций;
- *самоорганизация*, характеризующая способность системы самостоятельно быстро справляться с внутренними нештатными событиями.

Базовые концепции, которые закладываются в архитектуру и топологию производственных систем, представлены холоническими (HMS), фрактальными (FMS) и бионическими (BMS) производственными системами [2,3,4,5].

Информационный обмен лежит в основе интеграции этих моделей с агентными системами [6,7], что позволяет распространить способы и принципы принятия децентрализованных решений в мультиагентных системах на производственные системы, которые могут функционировать как в парадигме киберфизических, так и киберсоциальных систем.

Изменение интенсивности информационного обмена в определенной части сетевой самоорганизующейся системы, анализ изменений позволяет заметить и оценить возникновение и нарастание критической ситуации.

Критические явления в цифровых распределенных сетевых системах при реализации самоорганизации связаны со следующими основными причинами: состоянием физических элементов, использованием и распределением ресурсов, распределением/перераспределением работ.

Рассмотрение процессов возникновения критических явлений в таких сетевых структурах позволяет связать устойчивость сети и интенсивность информационного обмена между ее объектами. Информационный обмен предполагает одинаковую интерпретацию сообщений всеми участниками процессов. Здесь может быть использована модель, аналогичная модели микроблоггинга – обмен короткими сообщениями.

Существующие работы в области моделирования динамики микроблоггинговых систем адаптируют широко известные эпидемиологические модели SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) [8] или SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) [9] к распространению общественного мнения в микроблоггинговой среде. В этих моделях «выздоровевшие» агенты утрачивают способность участвовать в дальнейшем обмене сообщениями. Это адекватно описывает, например, распространение панических настроений, слухов или новостей, интерес к которым вспыхивает и постепенно затухает.

Описание сетевых структур, в которых агенты совершают полезную работу, делает необходимым использование моделей, в которых агенты после восстановления (например, устранение поломки оборудования) снова оказываются в состоянии выполнять работу и пересылать сообщения.

В большинстве реальных производственных систем, систем обслуживания и взаимодействия информационный обмен может ограничиваться введением правил. Введение правил может способствовать повышению устойчивости системы. В то же время чрезмерное введение правил в системе приводит к фактическому устранению самоорганизации.

Рассмотрено несколько вариантов моделей сетевой самоорганизующейся системы, отражающей ее динамику путем наблюдения за информационным взаимодействием объектов. При описании моделей термином «*агент*» обозначен программный агент, интегрированный с объектом или интеграцией объектов (*холоном, фракталом)*. *Сообщение* описывает короткий блок информации: сигнал, короткий текст, код и т.п., в виде, в котором он может быть понят другими агентами системы, и который может быть послан или переслан агентом.

В простейшей базовой модели присутствует только один тип сетевой активности, т.е. агенты могут выполнять только один род деятельности. Несмотря на свою простоту такая модель способна описывать важные особенности функционирования многоагентных сетевых систем, такие как возникновение нестабильностей, проявляющихся в осцилляциях сетевой активности или даже в резких лавинообразных всплесках активности. Данная модель удобна при анализе наиболее общих особенностей поведения многоагентных систем.

В второй модели считается, что в среде может производиться деятельность разных типов и могут генерироваться соответствующие типы сообщений. Такой подход позволяет моделировать сетевую активность разных типов, например, решение различных задач в многоагентной системе или распространение разных повесток в социальной сети. При этом может возникать конкуренция между активностями разных типов: всплеск активности одного типа подавляет активность другого типа за счет уменьшения числа активных агентов.

Небольшая модификация второй модели описывает зависимость разных типов активности, когда для выполнения работы основного типа требуется предварительное выполнение работы вспомогательного типа. Это означает, что исходная генерация сообщения основного типа производится лишь при получении активным агентом сообщения вспомогательного типа. В рамках такой модели оказывается возможным, варьируя макроскопические параметры сетевой среды, корректировать баланс между основным и вспомогательным типами активности.

Другая модификация второй модели отражает дифференциацию активности агентов по типам выполняемой деятельности. Эта модель описывает ситуацию, когда для выполнения работы разных типов требуются различные типы ресурсов.

Наконец, в третьей модели реализуется более тонкое взаимодействие между числом активных агентов и интенсивностью сообщений, путем добавления параметра состояния системы, описывающего стресс или информационную напряженность, накопившуюся в среде. В данной модели генерация сообщений активными агентами происходит вследствие накопившейся информационной напряженности.

Проведенные численные эксперименты с использованием предложенных моделей позволили рассмотреть особенности сетевой активности при различных значениях параметров модели, например, возникновение нестабильностей, конкуренция типов сетевой активности, влияние случайности, переходные процессы при изменении внешнего воздействия и др.

Были рассмотрены три основных механизма обеспечения устойчивости в сетевых структурах: уменьшение числа агентов, внешняя инжекция сообщений и подавление пересылки сообщений.

В определенном смысле эти механизмы уменьшают свободу автономных агентов, однако характер соответствующего уменьшения свободы и простота реализации этих механизмов заметно отличаются. Так, уменьшение числа агентов (отключение некоторой их части) приведет к соответствующему снижению производительности системы, а внешняя инжекция сообщений требует дополнительных сторонних ресурсов. Поэтому небольшое подавление распространения сообщений представляется наиболее естественным, наименее репрессивным и не приводящим к заметному снижению производительности системы.

Литература

1 J. Zhang, X. Yao, J. Zhou, J. Jiang, and X. Chen, “Self-Organizing Manufacturing: Current Status and Prospect for Industry 4.0,” In Proceedings of the 5th International Conference on Enterprise Systems (ES), pp. 319-326, Beijing, 2017. https://doi.org/10.1109/ES.2017.59

2 I. Gräßler and A. Pöhler, “Implementation of an adapted holonic production architecture,” Procedia CIRP, vol. 63, pp.138–143, 2017. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.176

3 Peralta, M.E., Marcos, M., Aguayo, F. and Lama, J.R. (2017) ‘Advanced fractal manufacturing: multi-level and multi-scale proposal for sustainable manufacturing processes’, *Int. J. Mechatronics and Manufacturing Systems*, Vol. 10, No. 1, pp.3–22.

4 Ilia Bider, Erik Perjons, Mturi Elias, Paul Johannesson. A fractal enterprise model and its application for business development. Softw Syst Model (2017) 16:663–689. DOI 10.1007/s10270-016-0554-9.

5 K. Ueda, “A Concept for Bionic Manufacturing Systems Based on DNA-type Information,” In: Proceedings of IFIP 8th International PROLAMAT Conference, pp. 853-863, Tokyo, 1992. https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89465-6.50078-8

6.Agent-based holonic design and operations environment for distributed manufacturing. Computers in Industry, Volume 52, Issue 2, October 2003, Pages 95-108

7 Venkat N.Rajan. An Agent-Based Fractal Model of Agile Manufacturing Enterprises: Modeling and Decision-Making Issues. Proceedings of the AI and Manufacturing Planning Workshop. https://cdn.aaai.org/SIGMAN/1996/SIGMAN96-018.pdf

8.Xu Jiuping, Tang Weiyao, Zhang Yi, Wang Fengjuan. A dynamic dissemination model for recurring online public opinion. Nonlinear Dynamics, v99 (2) (2020), pp. 1269-1293

9. Li Qing, Du Yajun, Li Zhaoyan, Hu Jinrong, Hu Ruilin, Lv Bingyan, Jia Peng. HK-SEIR model of public opinion evolution based on communication factors. Engineering Applications of Artificial Intelligence, v100 (2021), pp. 1-13.

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ GPR СЕРИИ «ОКО-2»

А.А. Татин
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация. *В работе рассматривается прямая и обратная задача для уравнения геоэлектрики. Рассматривается обратная задача по определению диэлектрической проницаемости вертикально-неоднородных сред. В таком случае нет необходимости в определении мощности слоев. На практике такие задачи возникают по определению геофизических свойств дорожного полотна, в частности автомобильные трассы.*

Целью решения обратной задачи заключается в определении диэлектрической проницаемости вертикально-неоднородных сред.

Существуют два подхода решения обратной задачи геоэлектрики. Первый, это инженерно-технические методы, основанные на применении физически обоснованных формул и правил при известных априорных данных о толщинах каждого слоя дорожного покрытия. Второй, это методы математического моделирования, основанные на решении обратной задачи геоэлектрики при помощи методов оптимизации и нейронных сетей. В данной работе были получены георадарные данные, путем проведения экспериментальных исследований дорожного полотна трассы Астана – Нура. Для полученных сигналов георадаром серии «ОКО-2», осуществляется первоначальная обработка данных с помощью программы GeoScan32, то есть применяются полосовая фильтрация, вычитание среднего и другие фильтры для очищения сигналов от шумов и помех. В итоге получаем очищенный реальный сигнал, который необходим для решения обратной задачи. Рассматривались экспериментальные исследования с известными априорными данными о структуре подземной среды, в котором выбраны такие участки дороги, как арка, трубы, мосты и так далее. Эксперименты были проведены совместно со специалистами Национального центра экспертизы дорожных активов РК.

Ключевые слова: *геофизика, некорректные и обратные задачи, георадар, инженерно-технический метод, волновое уравнение, вертикально-неоднородные среды.*

Введение

При применении неразрушающих методов электроразведки для исследования неоднородных сред возникает задача интерпретации радарограмм. Основным методом исследования подповерхностных структур является использование георадарных оборудований. Как правило, георадары дают данные время пробега от неоднородных сред. С математической точки зрения, это является функция времени. Основная задача интерпретации радарограмм состоит в том, чтобы по данным функции времени необходимо восстановить функции от глубины, которая описывает состояние неоднородных сред. Это задача относится к теории некорректных и обратных задач. Составление алгоритмов и программного обеспечения для решения этого класса задач является в настоящее время очень актуальной, востребованной и применяется, в частности, в задачах поиске археологических объектов, также для мониторинга автодорожных покрытий, автомобильных трасс или аэродромов.

1. Постановка прямой и обратной задачи геоэлектрики

Все физическое пространство R^3 переменных $r=(x, y, z)$ плоскостью $z=0$ разобьем на два полупространства:

$R^3_- = \{ r \in R^3 | z<0 \}$ (воздух), $R^3_+ = \{ r \in R^3 | z>0 \}$ (земля).

В области $\{z>0\}$ – земля, примем следующую постановку прямой задачи:

$$\varepsilon u_{tt} + \sigma u_t = \frac{1}{\mu} u_{zz} - \frac{\lambda^2}{\mu} u - \hat{g}_\lambda \delta(z)\,\delta(t), \quad z>0 \tag{1.1}$$

$$u|_{t<0} = 0, \;\; u_t|_{t<0} = 0 \tag{1.2}$$

$$\frac{1}{\mu} u_z|_{z=+0} = f_2(t). \tag{1.3}$$

Пусть относительно решения прямой задачи (1.1)–(1.3) известна дополнительная информация (математический: это след решения прямой задачи в точке $z=0$, на практике это данные отраженного сигнала в точке $z=0$, который, например, фиксирует приемник георадара):

$$u(0,t) = f_1(t) \tag{1.4}$$

Для определения краевого условия (1.3), поступим следующим образом. Известно, что в воздухе $\sigma = 0$, а коэффициенты ε, μ постоянны, тогда известное условие (1.4) принимая как краевое условие, в области $\{z<0\}$ – воздух, мы имеем следующую постановку прямой задачи:

$$\varepsilon u_{tt} = \frac{1}{\mu} u_{zz} - \frac{\lambda^2}{\mu} u + \hat{g}_\lambda \delta(z)\delta(t), \quad z<0, \tag{1.5}$$

$$u|_{t<0} = 0, \quad u_t|_{t<0} = 0 \tag{1.6}$$

$$u(0,t) = f_1(t) \tag{1.7}$$

Таким образом, разрешив прямую задачу (1.5)–(1.7) в воздухе, мы можем определить и условие (1.3).

В выражениях (1.1)–(1.7) приняты следующие обозначения:

δ – дельта функция Дирака, λ – параметр Фурье, и образы Фурье:

$$u(z,t) = F_x\left[E_2(x, 0, z, t)\right];$$

$$\hat{g}_\lambda = F_x[g(x)];$$

$$f_1(t) = F_x\left[\phi_1(x, t).\right].$$

Постановка обратной задачи:

Найти в области $\{z>0\}$ коэффициент $\varepsilon(z)$ и функцию $u(z,t)$ из соотношений (1.1)–(1.3) по известной $f_1^{\lambda}(t)$ при фиксированном $\lambda=\lambda_0$.

2. Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования проводились георадарным комплексом серии «ОКО-2» с прикрепленными антеннами АБ-400 (400 МГц) и АБ-1000 (1000 МГц). Далее, полученные георадарные съемки очищались от шумов и помех применением программного обеспечения GeoScan32.

Целью экспериментального исследования является обнаружение дефектов автомобильной трассы Астана – Нура.

Приведем пример первоначальной обработки сигналов для антенны АБ-1000. Для этого открываем данные сигнала при помощи приложения GeoScan32.

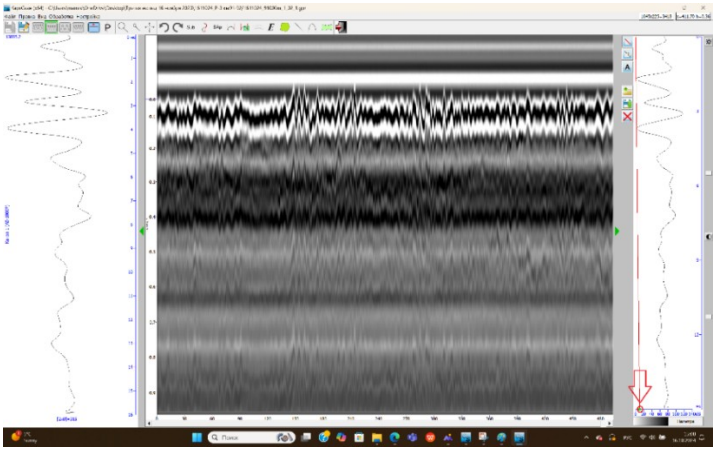


Рисунок 1. Сигнал, полученный георадаром «ОКО-2», для антенны АБ-1000

Рисунок 1 представляет из себя геоэлектрический разрез, где черным цветом закрашены участки локальных максимумов, белым цветом – локальных минимумов, а серым цветом участки, где амплитуда сигнала очень близка к нулю. При этом каждая вертикальная линия (трасса) представляет из себя сигнал, полученный в определенной точке участка дороги. Совокупность трасс представляет из себя профиль. Как показано на рисунке выше в первую очередь обнуляем усиление, который расположен в правом нижнем углу.

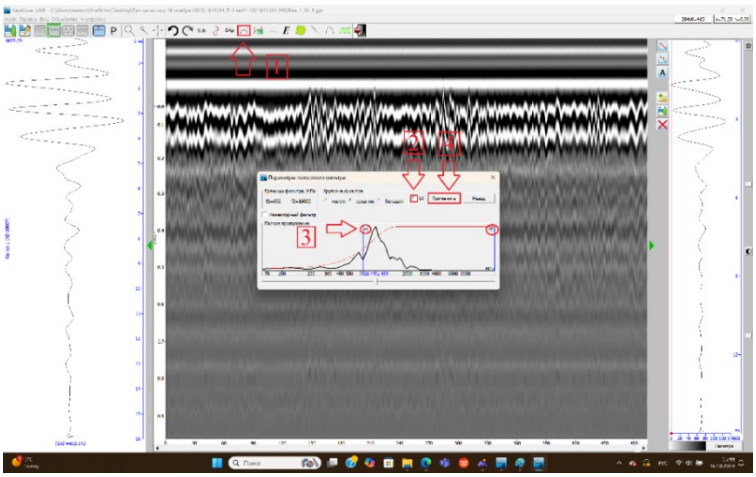


Рисунок 2. Применение полосовой фильтрации

Далее, применяем полосовую филтрацию (Рисунок 2). Для этого нажимаем на кнопку полосовой фильтрации, включаем логарифмическую шкалу и настраиваем диапозон частот начиная с 700 МГц и выше. После предварительной настройки нажимаем на кнопку применить. После настриваем синий ползунок слева так, чтобы она стояла на первом локаль-ном минимуме сверху (Рисунок 3).

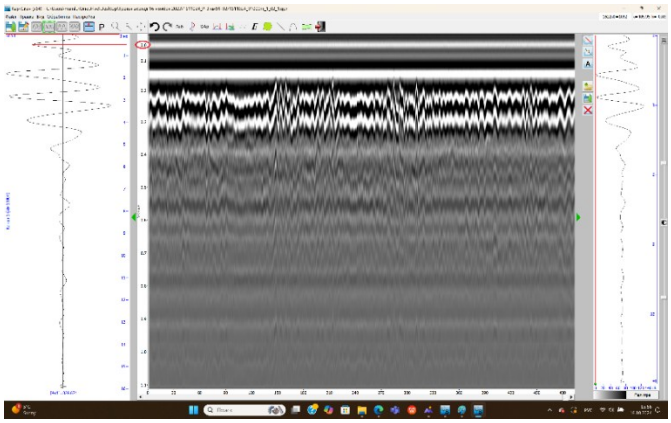


Рисунок 3. Результат после применения полосовой фильтрации

Следующим шагом применим вычитание среднего нажав на кнопку «Sub» (рисунок 4).

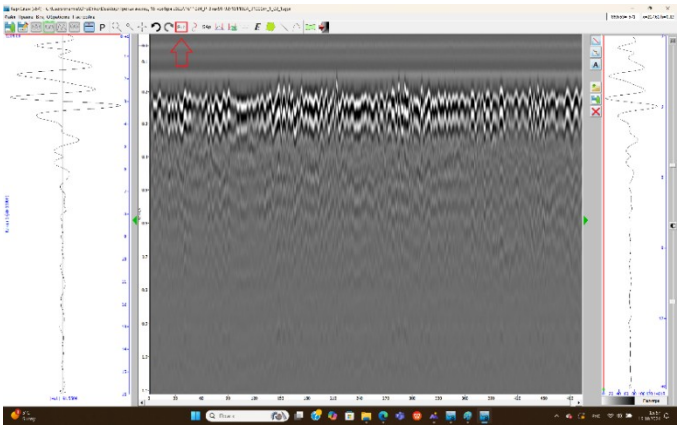


Рисунок 4. Результат после применения вычитания среднего (Sub)

И на предпоследнем шаге выделяем слои дорожной одежды. Зеленый слой это воздух, корич-невый слой – асфальт, а голубой – щебенка (рисунок 5). Нам удалось определить только два слоя дорожной одежды, поскольку антенный блок с частотой 1000 МГц может увидеть в глу-бину не больше пол метра. Результирующим шагом будет определения диэлектрической проницаемости слоев при известных априорных данных о толщинах каждого слоя дорожной одежды.

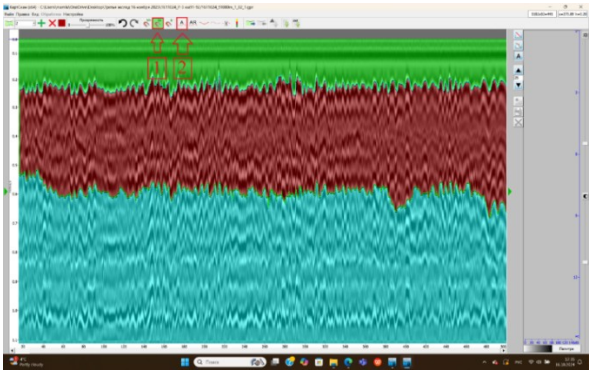


Рисунок 5. Результат после выделния слоев дорожной одежды

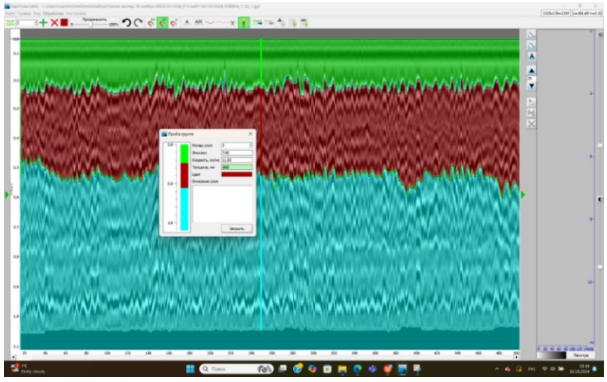


Рисунок 6. Определение диэлектрической проницаемости слоев дорожной одежды

При задании толщины первого слоя равным 300 мм получим диэлектрическую проницае-мость первого слоя равным 7.52 (показатель относительной диэлектричсекой проницаемо-сти). Нужно учесть тот факт, что нельзя однозначно определить диэлектричсекую проницае-мость без первоначальных данных о толщинах каждого слоя.

4. Заключение

Инженерно-технический метод, основанный на физически обоснованных формул и правил, при должным образом правильном задании настроек для прибора «ОКО-2», первона-чальной обработке данных и при точных данных о толщине каждого слоя однозначно может определить диэлектрическую проницаемость каждого слоя. Однако при плохих георадарных съемках определение не только диэлектрической проницаемости, но и определение границ слоев будет являтся трудоемкой операцией. Поэтому методы математического моделирова-ния, основанных на применении оптимизационных методов и нейронных сетей, является бо-лее предпочтительной. В дальнейшем планируется применить нейронные сети для решения обратной задачи геоэлектрики.

Работа поддержана в рамках грантового финансирования МНиВО РК 2023-2025 по проекту AP 19680361 «Разработка вычислительных технологий для диагностики до-рожной одежды автомобильных трасс».

Список литературы

1. Романов В.Г., Обратные задачи для уравнений математической физики. М.: Наука, 1984.
2. Романов В.Г., Кабанихин С.И. Обратные задачи геоэлектрики. М.: Наука, 1991.

Татин Алмаз Алгазыевич – магистр, докторант 2 курса кафедры математического и компьютерного моделирования Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева; 010000, Казахстан, Астана; email: mamlukbeibarys@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕРЖНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, КОГДА НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНОЙ И ПЕРЕМЕННЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ ИЗОЛИРОВАНЫ ОТ ТЕПЛА

А.А. Ташев[1], А.К. Кудайкулов[1],
М.Т. Аршидинова[2], К.Б. Бегалиева[3]

[1]Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова КН МНиВО РК, Алматы, Казахстан

[2]Институт информационных и вычислительных технологий, КН МНиВО РК, Алматы, Казахстан

[3]Казахский агротехничесикй исследовательский университет им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

Аннотация. *В работе рассматривается горизонтальный стержень ограниченной длины и переменного поперечного сечения. На площадь поперечного сечения левого конца стержня подводится тепловой поток. Стержень разделен на шесть частей. Боковая поверхность второй, четвертой и шестой части стержня теплоизолирована. Через боковую поверхности первый, третий и пятые части стержня происходит теплообмен с окружающей ее средой. Приближенно-аналитическим методом определяется поле температур. Определяются поле распределения термоупругих, температурных и упругих составляющих деформаций и напряжений, а также перемещения.*

Ключевые слова: *функционал энергии, стержень переменного сечения, теплоизоляци я, тепловой поток.*

Введение

С развитием промышленности стали широко применяться сложные стержневые конструкции, работающие при различных тепловых режимах. Стержневые конструкции широко применяются в машиностроении, в строительной механике и т.д. Актуальной научно-технической задачей является изучение термо-напряженно-деформируемого состояния стержней с учетом их термоупругих свойств и размеров. Это необходимо для исследования их прочностных свойств, определения безопасных режимов и условий эксплуатации, предотвращения возможных катастроф на основе анализа возможных критических состояний систем. Эффективным методом изучения таких конструкций является математическое моделирование их термо-напряженно-деформируемого состояния при различных внешних нагрузках и тепловых воздействиях и создание на их основе информационных технологий для проведения экспериментальных проектных работ.

Для теоретического описания термонапряжённо-деформированного состояния стержней постоянного и переменного сечения используется фундаментальные законы

изменения количества тепла, механики деформируемого твёрдого тела, теория упругости и термоупругости, на основе которых будет сформулированы соответствующие задачи, учитывающие наличие температур, тепловых потоков, теплообменов, теплоизоляций, осевых сил, физико-механических свойств материалов и геометрических размеров исследуемых стержней.

1. Постановка задачи

Рассматривается горизонтальный стержень ограниченной длины. Радиус стержня меняется линейно по ее длине. Площадь поперечного сечения левого конца больше правой . Стержень разделен на шесть частей. Боковая поверхность каждой второй части исследуемого стержня полностью теплоизолирована. Через первый, третий и пятые узлы стержня происходит теплообмен с окружающей средой. При этом радиус сечения меняется линейно по длине исследуемого стержня, $r = ax + b$, $(0 \le x \le l)$, где l – длина стержня, $a, b - const$. Площадь поперечного сечения стержня меняется нелинейно по длине стержня следующим образом $F(x) = \pi(ax+b)^2$ [см^2]. На площадь поперечного сечения левого конца стержня $F(x=0) = \pi b^2$, подводится тепловой поток с постоянной интенсивностью $q[\frac{watt}{см^2}]$. Через площадь поперечного сечения правого конца стержня $F(x=l) = \pi(al+b)^2$ происходит теплообмен с окружающей средой. При этом коэффициент теплообмена $h[\frac{watt}{см^{2\,0}C}]$, температура окружающей среды $T_{ос}[^0K]$ физико-механические свойства материала стрежня характеризуется коэффициентом теплового расширения $\alpha[\frac{1}{0K}]$, теплопроводность $K_{xx}[\frac{watt}{см\cdot^0 K}]$ и модуль упругости $E[\frac{кГ}{см^2}]$. Схема исследуемого стержня приводится на рисунке 1.

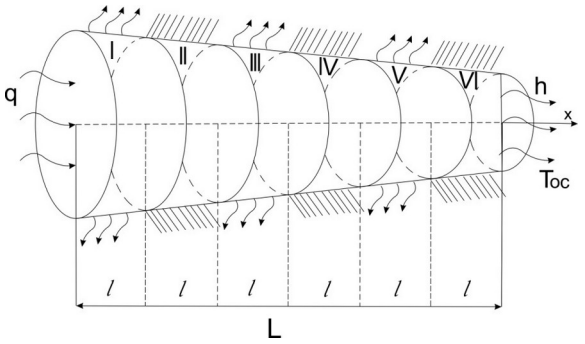


Рисунок 1. Схема исследуемого стержня

1. Алгоритм решения задач

При наличии теплового потока, теплоизоляции и теплообмена функционал полной тепловой энергии для исследуемого стержня имеет вид [1]:

$$J = \int_{F(x=0)} qTds + \int_V \frac{K_{xx}}{2}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 dv + \int_{F(x=l)} \frac{h}{2}(T - T_{oc})^2 ds \qquad (1)$$

Осуществляем квадратичную аппроксимацию

$$T=\left(\frac{2x^2-3Lx+L^2}{L^2}\right)T_i+\left(\frac{4Lx-4x^2}{L^2}\right)T_j+\left(\frac{2x^2-Lx}{L^2}\right)T_k \tag{2}$$

Подставляем значение T в (1), получаем значение интегралов следующего вида:
первый интеграл:

$$J_1=\int_{F(x=0)} qST_i\,ds \tag{3}$$

второй интеграл от 0 до L для одного элемента:

$$J_2=\int_v \frac{K_{xx}}{2}\frac{\left[(4x-3l)T_i+(4l-8x)T_j+(4x-l)T_k\right]^2(ax+b)^2}{4l}\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 dv \tag{4}$$

Третий интеграл:

$$J_3=\int_{F(x=l)} \frac{(ax+b)h}{2}\left[\frac{\left[(2x^2-3lx+l^2)i+(4lx-4x^2)j+(2x^2-lx)\right]k}{l^2}-T_{oc}\right]^2 ds \tag{5}$$

при $0\le x\le l$;

Подставляя значение интегралов в формулу функционала полной тепловой энергии(1) получим систему линейных уравнений:
Матрица одного элемента для нетеплоизолированного участка стержня:

$$K_{xx}\pi\begin{pmatrix} \frac{la^2}{5}+ab+\frac{7b^2}{3l} & -\frac{2la^2}{5}-\frac{4ab}{3}-\frac{8b^2}{3l} & \frac{la^2}{5}+\frac{ab}{3}+\frac{b^2}{3l} \\ -\frac{2la^2}{5}-\frac{4ab}{3}-\frac{8b^2}{3l} & \frac{32la^2}{15}+\frac{16ab}{3}+\frac{16b^2}{3l} & -\frac{26la^2}{15}-4ab-\frac{8b^2}{3l} \\ \frac{la^2}{5}+\frac{ab}{3}+\frac{b^2}{3l} & -\frac{26la^2}{15}-4ab-\frac{8b^2}{3l} & \frac{23a^2}{15}+\frac{11ab}{3}+\frac{7b^2}{3l}+4h \end{pmatrix}\begin{pmatrix}T_1\\T_2\\T_3\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-16q\\0\\4T_{oc}h\end{pmatrix} \tag{6}$$

для теплоизолированного участка стержня:

$$\frac{lh}{3}\begin{pmatrix} \frac{la}{10}+\frac{4b}{5} & \frac{2b}{5} & -\frac{la}{10}-\frac{b}{5} \\ \frac{2b}{5} & \frac{8a}{5}+\frac{16b}{5} & \frac{2a}{5}+\frac{2b}{5} \\ -\frac{la}{10}-\frac{b}{5} & \frac{2a}{5}+\frac{2b}{5} & \frac{7la}{10}+\frac{4b}{5} \end{pmatrix}\begin{pmatrix}T_1\\T_2\\T_3\end{pmatrix}=\frac{lT_{oc}h}{3}\begin{pmatrix}b\\2a+4b\\la+b\end{pmatrix} \tag{7}$$

Матрица двух элемент:

$$K_{xx}=\begin{pmatrix} \frac{la^2}{5}+ab+\frac{7b^2}{3l} & -\frac{2la^2}{5}-\frac{4ab}{3}-\frac{8b^2}{3l} & \frac{la^2}{5}+\frac{ab}{3}+\frac{b^2}{3l} & 0 & 0 \\ -\frac{2la^2}{5}-\frac{4ab}{3}-\frac{8b^2}{3l} & \frac{32la^2}{15}+\frac{16ab}{3}+\frac{16b^2}{3l} & -\frac{26la^2}{15}-4ab-\frac{8b^2}{3l} & 0 & 0 \\ \frac{la^2}{5}+\frac{ab}{3}+\frac{b^2}{3l} & -\frac{26la^2}{15}-4ab-\frac{8b^2}{3l} & \frac{(23+3l)a^2}{15}+\frac{14ab}{3}+\frac{14b^2}{3l}+4h & & \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & -\frac{2la^2}{5}-\frac{4ab}{3}-\frac{8b^2}{3l} & \frac{32la^2}{15}+\frac{16ab}{3}+\frac{16b^2}{3l} & -\frac{26la^2}{15}-4ab-\frac{8b^2}{3l} \end{pmatrix}$$

(8)

$$\frac{lh}{3}\begin{pmatrix} \frac{la}{10}+\frac{4b}{5} & \frac{2b}{5} & -\frac{la}{10}-\frac{b}{5} & 0 & 0 \\ \frac{2b}{5} & \frac{8a}{5}+\frac{16b}{5} & \frac{2a}{5}+\frac{2b}{5} & 0 & 0 \\ -\frac{la}{10}-\frac{b}{5} & \frac{2a}{5}+\frac{2b}{5} & \frac{8la}{10}+\frac{8b}{5} & \frac{2b}{5} & -\frac{la}{10}-\frac{b}{5} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{2b}{5} & \frac{8a}{5}+\frac{16b}{5} & \frac{2a}{5}+\frac{2b}{5} \end{pmatrix}$$

(9)

Если один конец стержня жестко закреплена, а другой – свободен, то величина удлинения стержня Δl_T [см] определяется согласно общему закону теплофизики [1]

$$\Delta l_T = \int_0^l \alpha T(x)\,dx\,.$$

(10)

Если оба конца стержня, жестко закреплены, то в стержне возникает осевое сжимающее усилие R[кГ], которое определяется из условия совместности деформации [1]

$$R = \frac{\Delta l_T \cdot E \int_0^l F(x)\,dx}{l^2}. \tag{11}$$

В этом случае в стержне возникает поле распределения термо-упругой составляющей напряжения $\sigma(x)[\frac{кГ}{см^2}]$:

$$\sigma(x) = \frac{R}{F(x)}, \qquad 0 \le x \le l \tag{12}$$

Тогда согласно, закону Гука можно определить поле распределения термо-упругой составляющей деформаций Ɛ(x) [безразмерная]:

$$\varepsilon(x) = \frac{\sigma(x)}{E}. \tag{13}$$

Температурная составляющая деформаций ƐT(x) [безразмерная] определяется согласно общему закону теплофизики [1]:

$$ƐT(x) = -\alpha\, T(x). \tag{14}$$

Тогда согласно закону Гука определяется поле распределения температурной составляющей напряжения $\sigma_T(x)[\frac{кГ}{см^2}]$:

$$\sigma_T(x) = E \cdot \varepsilon_T(x) = -\alpha E \cdot T(x). \tag{15}$$

Согласно теории термоупругости определяются законы распределения упругих составляющих деформаций Ɛx(x) [безразмерная] и напряжения $\sigma_T(x)[\frac{кГ}{см^2}]$:

$$\varepsilon_x(x) = \varepsilon(x) - \varepsilon_T(x), \tag{16}$$

$$\sigma_x(x) = E \cdot \varepsilon_x(x) = \sigma(x) - \sigma_T(x). \tag{17}$$

Для определения поле перемещения используется потенциальная энергия упругих деформаций :

$$\Pi = \int_V \frac{\sigma_x(x)}{2} \varepsilon_x(x)\, dv - \int_V \alpha E \cdot T(x) \cdot \varepsilon_x(x)\, dv. \tag{18}$$

Согласно соотношению Коши [4] , имеем:

$$\varepsilon_x(x) = \frac{\partial U}{\partial x}, \tag{19}$$

$$U = U(x) = \phi_i(x) U_i + \phi_j(x) U_j + \phi_k(x) U_k + \phi_m(x) U_m + \phi_n(x) U_n, \tag{20}$$

где U поле перемещение.

2. Численный эксперимент

Для практического применения вышеизложенного метода и алгоритма, примем следующие исходные данные $l=20см$; $a=-\frac{1}{10}; b=4\,см; \alpha=0,0000125\frac{1}{^0K}$; $E=2\cdot 10^6 \frac{кГ}{см^2}; K_{xx}=100\frac{watt}{см\cdot^0 K}; h=10\frac{watt}{см^2\cdot^0 K}; T_{oc}=40^0 K; q=-500\frac{watt}{см^2}$;

При этих исходных данных полученные решение приведены на рисунках 2-5.

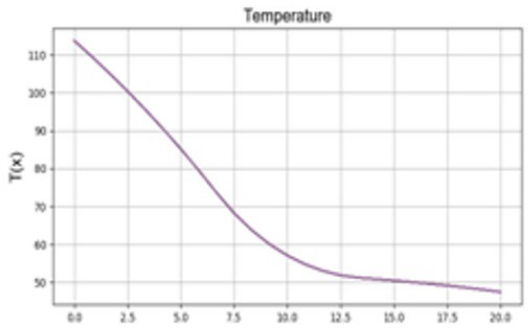


Рисунок 2. Зависимости температуры T по длине стержня

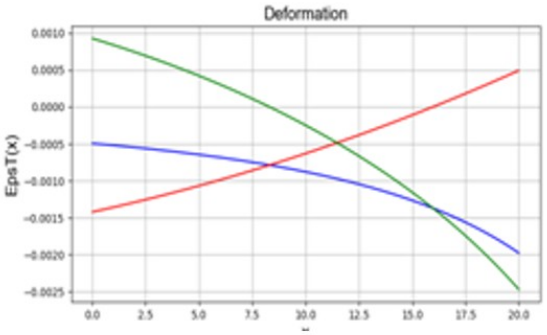


Рисунок 3. Зависимости напряжении по длине стержня

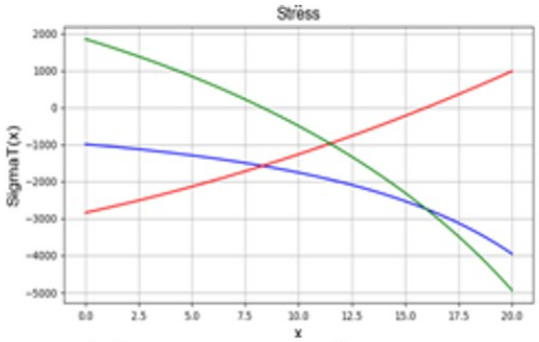


Рисунок 4. Зависимости деформации по длине стержня

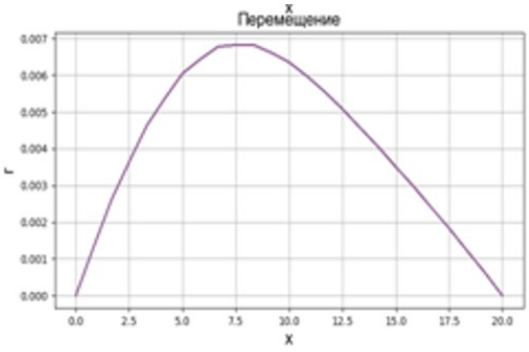


Рисунок 5. Зависимости перемещении по длине стержня

2. Заключение

Полученные результаты согласуются с соответствующими законами физики. Этот метод может быть использован для численного решения класса задач определен установившегося термомеханического состояния несущих элементов конструкции, работающих под воздействием разнородных видов источников тепла. Разработанная численная модель нелинейных термомеханических процессов в стержне переменного сечения, основана на фундаментальном законе сохранения энергии. Это позволяет получить достоверные численные результаты с учетом всех естественных граничных условий.

Список литературы:

1. A. Kudaykulov, A. Zhumadillayeva. Numerical simulation of temperature distribution field in beam bulk in the simultaneous presens of heat insulation, heat flux and heat exchange // Actaphysicapolonica A, 2016. – P. 335-336.
2. Tashenova, Z., Nurlybaeva, E.Kudaykulov, A. Method preparation and solution algorithm for resolving stationary problem of a rod under thermo - stressed condition restrained at both ends affected by heat exchange and heat flows // 2012 International Conference on Advanced Material and Manufacturing Science, ICAMMS 2012; Beijing; China;
3. MuheyatNiyazbek, KuenssauleTalp, Kudaykulov A.K. Computer and Mathematical Modeling of Thermomechanical Processes in Element of Constructions. ActaScientiarumNaturaliumUniversitatisNankaiensis, Vol 50 . № 3. 2017, Tianjin, China;
4. Timoshenko S., Goodyear J. N. Theory of Elasticity. – McGRAW-Hill. Book. Company. Inc., 1987. – 567 p.

ЗАҢНАМА САЛАСЫНА БАЙЛАНЫСТЫ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЗАМАНАУИ ЖАҒДАЙДЫ ЗЕРТТЕУ

Д. Рахимова1,2, А. Сарсенбаева1

[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

[2]Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Құқықтық салаға қатысты сұрақтарға жауап беру, негізінен, құқықтық құжаттар жүйесінің күрделі табиғаты мен алуан түрлілігіне байланысты күрделі міндет болып табылады. Заңды сұрауға нақты жауап беру, әдетте, тиісті салада мамандандырылған білімді қажет етеді, бұл тапсырманы тіпті адам сарапшылары үшін де қиындатады. Сұрақ-жауап жүйелері (QA) табиғи тілдерде қойылған сұрақтарға жауап беруге арналған. QA сұрақтарды түсіну және тиісті жауаптарды табу үшін ақпаратты табу үшін табиғи тілді өңдеуді қолданады. Қазіргі уақытта құқықтық саладағы сұрақтар мен жауаптарға арналған шолулардың жетіспеушілігі бар. Бұл мәселені шешу үшін біз құқықтық саладағы сұрақ-жауап жүйесіне арналған 14 эталондық деректер жиынтығын қарастыратын жан-жақты шолуды ұсынамыз, сонымен қатар заңды сұрақ-жауап талдауы үшін терең оқытудың заманауи үлгілеріне шолу жасаймыз. Біз осы зерттеулерде қолданылатын әртүрлі архитектуралар мен әдістерді қарастырамыз және осы модельдердің өнімділігі мен шектеулерін талқылаймыз.*

Кілттік сөздер: *Заңды сұрақтарға жауап беру, Табиғи тілді өңдеу, Машиналық оқыту, Ақпаратты іздеу, Құқықтық ақпаратты алу, Трансформаторлар*

Кіріспе

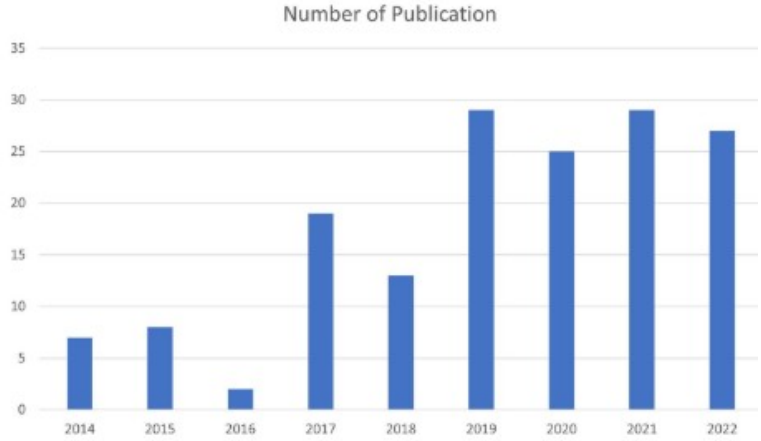
QA (сұрақ-жауап талдауы) [1, 5] - бұл адамдар сияқты табиғи тілде сұрауларға жауап беруге арналған жасанды интеллект (AI) түрі. Табиғи тілді өңдеу әдістері (NLP) әдетте QA жүйелерінде сұрақтың мағынасын түсіну үшін қолданылады, содан кейін көптеген мәліметтерден ең қолайлы жауаптарды табу үшін машиналық оқыту және ақпараттық іздеу сияқты әртүрлі әдістер қолданылады. Терең оқытуға негізделген QA жүйелерін құру үшін терең оқыту әдістерін қолданатын AI [2] саласындағы өзекті бағыт болып табылады. Терең оқыту - бұл мәліметтердегі күрделі заңдылықтарды түсіну үшін көптеген қабаттары бар нейрондық желілер қолданылатын машиналық оқытудың бір түрі. QA саласында терең оқыту әдістерін жүйенің сұрақтың мағынасын түсіну және деректердің үлкен көлемінен ең қолайлы жауапты табу қабілетін жақсарту үшін пайдалануға болады.

Соңғы жылдары терең оқыту танымал болды және сұрақтардың кең ауқымына жоғары дәлдікпен жауап беретін заманауи QA жүйелерін құру үшін пайдаланылды. Терең оқытуды қолданатын сұрақ-жауап талдау жүйелерінің кейбір мысалдарына generative Pretrained Transformer 3 (GPT-3) [11] және Google Bert жатады [3, 9, 13, 18]. Терең оқытудың сұрақ-жауап талдау тапсырмалары үшін көптеген артықшылықтары бар. Терең оқытудың басты артықшылықтарының бірі-бұл QA жүйелеріне табиғи тілдердегі мәтіндер сияқты күрделі және құрылымдалмаған деректерді [4, 6] машиналық оқытудың басқа әдістеріне қарағанда тиімдірек өңдеуге мүмкіндік береді. Себебі терең оқыту модельдері алдын-ала анықталған ережелерге, статистикалық заңдылықтарға немесе қолмен жасалған сипаттамаларға ғана емес, мәселенің негізгі мағынасын және оның мәнмәтінін шығарып, түсіндіре алады. QA үшін терең оқытудың тағы бір маңызды артықшылығы-бұл "кіруден шығуға" оқытуды пайдалануға мүмкіндік береді, мұнда кіріс деректерінен жауапқа дейінгі бүкіл процесс бірге оқытылады. Бұл QA жүйесінің жалпы өнімділігін жақсартады және модельдерді оқыту мен қолдауды жеңілдетеді. Ақырында, терең оқыту [7, 8, 14] сонымен қатар модель анықталмаған деректердің үлкен көлемінен үйренуге болатын ауқымды қараусыз оқытуға

мүмкіндік береді. Бұл әсіресе QA жүйелері үшін пайдалы болуы мүмкін, өйткені бұл оларға әртүрлі көздерден білім алуға және уақыт өте келе өнімділігін жақсартуға мүмкіндік береді. Қорытындылай келе, сұрақ-жауап талдауында терең оқытуды қолдану QA жүйелерін дәлірек және тиімді етуге көмектесті және сұрақтардың кең ауқымына жауап беру үшін AI пайдаланудың жаңа мүмкіндіктерін ашты. Сұрақтарға жауап беру үшін терең оқытуды пайдаланған кезде QA тапсырмалары үшін арнайы жасалған нейрондық желілік архитектураларды пайдалану маңызды.

1. Заңды сұрақ-жауап талдауына шолу

Legal Question Answering, LQA [10,11] - бұл заңды сұрақтарға жауап беру процесі. Мұны әдетте заңның тиісті саласында тәжірибесі мен білімі бар адвокат немесе басқа заңгер жасайды. Заңды сұрақ-жауап талдауы қолданыстағы заңнаманы зерттеуді, құқықтық нормалар мен ережелерді түсіндіруді және нақты нақты жағдайларға құқықтық принциптер мен прецеденттерді қолдануды қоса алғанда, әртүрлі әрекеттерді қамтуы мүмкін. LQA жеке тұлғалар мен компанияларға құқықтық жүйені шарлауға және құқықтық мәселелерді шешуге көмектесу үшін нақты және сенімді құқықтық ақпарат пен кеңестер беруге тырысады. Терең оқытуды қолданатын заңды сұрақ-жауап талдауы [12,15,16] - бұл заңды сұрақтарға жауап беру үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолданатын табиғи тілді өңдеу (Natural Language Processing, NLP) тапсырмасының бір түрі. Бұл тәсіл машиналық оқытудың ішкі жиынтығы болып табылатын терең оқытуды қолданады және күрделі заңдылықтар мен қатынастарды зерттеу үшін үлкен көлемдегі деректерде нейрондық желілік модельдерді оқытуды қамтиды.



1-сурет. Scopus журналындағы заңнамаға байланысты сұрақ-жауап жүйелері туралы мақалалардың 2014-2022 жылдардағы шығу саны

1-суретте әр түрлі LQA қоңыраулары үшін терең оқыту стратегияларын зерттейтін жыл сайын жарияланған мақалалар саны көрсетілген. Біз бұл ақпаратты Scopus, кең библиографиялық мәліметтер базасынан алдық. Іздеу "заңды", "сұрақ-жауап талдауы" және "терең оқыту"сияқты нақты кілт сөздерді қолдану арқылы жүргізілді. Соңғы жылдары басылымдар саны тұрақты өсіп келе жатқанын байқауға болады. 2014 жылдан 2016 жылға дейін жылына шамамен 17 тиісті басылым жарық көрді. 2017 жылдан бастап мақалалар саны айтарлықтай өсті, өйткені көптеген зерттеушілер көптеген қолданбалы салаларда QA үшін әртүрлі терең оқыту үлгілерін қолданып көрді. 2019 жылы 19-ға жуық тиісті мақалалар жарияланды, бұл айтарлықтай сан. Қолданбалардың әртүрлілігіне және қоңыраулардың тереңдігіне байланысты бірнеше себептерге байланысты жылдам дамып келе жатқан QA саласындағы терең оқыту тәсілдерін зерттейтін қолданыстағы жұмыстарға шолу жасаудың шұғыл қажеттілігі бар. Бұл QA мәселелерін шешу үшін терең оқыту модельдерін қолданудың жалпы ерекшеліктерін, қарама-қайшылықтарын және кең шеңберін көрсете

алады. Бұл көптеген қолданбалы секторлардағы зерттеу сын-қатерлері арасында тәсілдер мен идеялармен алмасуға мүмкіндік береді.

2. Зерттеу жұмыстары

Сұрақ-жауап талдауы (QA) тақырыбы бойынша жарияланған көптеген зерттеу жұмыстары бар және осы саланың ағымдағы күйін бағалау қиын болуы мүмкін. Бұл бөлімде біз бірнеше пайдалы шолу мақалаларын ұсынамыз.

Барал [17] QA-ға негізгі тәсілдерге, соның ішінде ережелерге, ақпараттық іздеуге және негізгі әдістерге шолу жасайды. Гуда және басқалар. [20] QA жүйелерінің әртүрлі түрлеріне, соның ішінде жалпы және арнайы мақсаттағы жүйелерге, сондай-ақ гибридті жүйелерге назар аударады. Гупта мен Гуптаның шолу мақаласы [22] QA жүйелерінде қолданылатын әртүрлі әдістерді, соның ішінде синтаксистік және семантикалық талдауды, ақпарат алуды және машиналық оқытуды талқылайды. Пуянфар және т.б. [19] QA зерттеулеріндегі соңғы жетістіктерге, соның ішінде саладағы жаңа қиындықтар мен мүмкіндіктерге жан-жақты шолу жасайды.

Жұмысында Коломиек және Моенс [21] авторлар ақпараттық іздеу тұрғысынан сұрақ-жауап талдау технологиясына шолу жасайды. Ол сұраныстар мен ақпараттық құжаттарды ұсыну үшін қолданылатын іздеу модельдерінің маңыздылығына, сондай-ақ сұрау мен жауап беруге үміткер арасындағы байланысты бағалау үшін қолданылатын іздеу функцияларына назар аударады. Бұл шолу сұрақ-жауап талдауының жалпы архитектурасын ұсынады, ол сұрақтар мен ақпарат объектілерін ұсыну деңгейінің күрделілігін біртіндеп арттырады.

Біздің білуімізше, Мартинес-Гиллдің LQA туралы бір ғана шолу мақаласы [23] бар және LQA бойынша соңғы жылдары жүргізілген зерттеулерді сипаттайды. Бұл мақалада LQA-дағы әртүрлі зерттеу жұмыстарының артықшылықтары мен кемшіліктері сипатталған. Біздің шолуымыз осы саладағы бар шешімдерге жан-жақты шолу жасай отырып, Сұрақ-жауап талдауын шешуге бағытталған.

Ақырында, жасанды интеллекттің құқықтық зерттеулер саласына көзқарастарының кең перспективасы Ecir 2023 конференциясында ұсынылған соңғы оқу материалында ұсынылған Гангули және т. б. [24]. Заңды құжаттарға қолданылатын табиғи тілді өңдеу және ақпараттық іздеу әдістерін (бірақ міндетті түрде QA емес) егжей-тегжейлі шолу үшін осы ресурсқа жүгінген жөн.

QA үшін заманауи Машиналық оқыту. *Терең оқыту*:терең оқыту (DL) - бұл табиғи тілді түсіну үшін нейрондық желілерге сүйенетін QA үшін машиналық оқытудың заманауи тәсілі. Бұл желілер деректердің үлкен көлемінде оқытылады және мәтіннің мағынасын түсіне алады. Танымал архитектуралар-қайталанатын нейрондық желілер (RNN), LSTM және Конволюциялық нейрондық желілер (CNN). Бұл модельдерді QA сияқты нақты тапсырмалар үшін теңшеуге болады. Олар нақты жауаптар жасауға және жаңа үлгілер мен деректердің өзгеруіне бейімделуге қабілетті. Олар сұрақтың мәнмәтіні мен ниетін түсініп, тиісті және табиғи жауаптар бере алады. Сонымен қатар, бұл модельдер сұрақ-жауап талдауы, тілді аудару және мәтінді қорытындылау сияқты көптеген тапсырмаларды орындай алады.

Трансформаторларға негізделген модельдер: Bert және GPT-2 сияқты трансформаторларға негізделген модельдер табиғи тілді өңдеу тапсырмаларының кең ауқымында өте тиімді екенін көрсеткен терең оқыту тәсілдерінің түріне жатады. Бұл модельдер мәтіннің контекстін және сөздердің мағынасын түсінуге мүмкіндік беретін трансформатор архитектурасына негізделген. Бұл модельдердің басты ерекшелігі-болжау кезінде кірістердің әртүрлі бөліктерінің маңыздылығын тиімді бағалауға мүмкіндік беретін өзіндік зейін механизмдерін қолдану. Бұл берілген сұрақтың мәнмәтінін түсінуге және тиісті жауап беруге мүмкіндік береді.

BERT-бұл трансформаторға негізделген модель, ол алдын-ала анықталмаған деректердің үлкен көлемінде дайындалған. Модель белгіленбеген мәтіндік деректердің үлкен корпусында оқытылды, бұл оған тілдің жалпы ерекшеліктерін зерттеуге мүмкіндік берді. BERT көбінесе сұрақ-жауап талдауы, көңіл-күйді талдау және аталған нысандарды тану сияқты табиғи тілді түсінудің әртүрлі тапсырмаларын орындау үшін деректер жиынына бейімделеді.

GPT-3.5-бұл табиғи тілді түсіну және генерациялау міндеттеріне бейімделетін трансформаторға негізделген тағы бір модель. GPT-3.5 көптеген белгіленбеген мәтіндік деректермен оқытылады, бұл оған адам жазған мәтіннің стилі мен мазмұнына ұқсас мәтін жасауға мүмкіндік береді.

Кесте-1 – Классикалық машиналық оқыту мен трансформаторға негізделген заманауи модельдерді салыстыру

Аспект	**Классикалық машиналық оқыту**	**Заманауи трансформаторларға негізделген модельдер**
Деректер талаптары	Үлкен белгіленген деректер жиынтығы	Аз белгіленген деректермен жұмыс істей алады
Атрибуттық инженерия	Қолмен атрибуттық инженерия	Деректерден белгілерді автоматты түрде зерттеуге мүмкіндік береді
Құрылымдылық	Қарапайым модельдер, міндетті тапсырмалар үшін әдетте логистикалық регрессия немесе SVM	Көбінесе БЕРТ, GPT-2 сияқты күрделі модельдер
Оқу уақыты	Жылдамырақ	Төмен, бірақ әріптесуші
Дәлдік	Төмен	Жоғары
Контекстуалды ақпаратты өңдеу	Шектелген	Қолмен түсуге ие
Құрылымдалмаған деректерді өңдеу	Шектелген	Қолмен түсуге ие
Жалпылау қабілеті	Жақсы	Тәуелді

Жоғарыдағы 1-кестеде классикалық машиналық оқыту және заманауи трансформаторларға негізделген модельдерді бірнеше аспекттер бойынша салыстырады:

Бұл кестеде, заманауи трансформаторларға негізделген модельдер классикалық машиналық оқыту модельдерімен салыстырылғанда қажетті аспекттердің қандай модельде жақсы жұмыс істейдігін көрсетеді.

DL модельдері классикалық тәсілдерге қарағанда дәлірек және табиғи жауаптар шығара алады және Сұрақ-жауап талдауы, тілді аудару және мәтінді қорытындылау сияқты көптеген қосымшаларда қолданыла алады. Олар сұрақтың мәнмәтіні мен ниетін түсіне алады және тиісті және табиғи жауаптар бере алады.

1-кесте классикалық машиналық оқыту модельдерін және трансформаторларға негізделген заманауи модельдерді бірнеше аспектілер бойынша салыстырады. Деректер талаптарына қатысты машиналық оқытудың классикалық модельдері оқыту үшін үлкен белгіленген деректер жиынтығын қажет етеді, ал трансформаторларға негізделген заманауи модельдер аз белгіленген деректермен жұмыс істей алады. Классикалық машиналық оқыту модельдерінде әдетте логистикалық регрессия немесе тірек векторлық әдіс сияқты қарапайым модельдер болады, ал қазіргі трансформаторларға негізделген модельдерде Bert және GPT-2 сияқты күрделі модельдер бар. Классикалық машиналық оқыту модельдері, әдетте, трансформаторларға негізделген заманауи модельдерге қарағанда жылдамырақ оқу уақытына ие, бірақ дәлдігі төмен. Трансформаторларға негізделген заманауи модельдер,

керісінше, контекстік ақпаратты және құрылымдалмаған деректерді өңдеудің күшті қабілетіне ие, сонымен қатар классикалық машиналық оқыту модельдерімен салыстырғанда жақсы жалпылау қабілетіне ие.

3. Сұрақ-жауап өңдеу жүйелерінің сапасын бағалау көрсеткіштері

Сұрақ-жауап өңдеу жүйелерінің (QA) өнімділігін бағалаудың бірнеше көрсеткіштері бар. Бұл бөлімде біз осы көрсеткіштердің кейбірін талқылаймыз және сәйкес теңдеулерді береміз. *Дәлдік* [25] – дұрыс жауаптардың пайызын өлшейтін қарапайым көрсеткіш сұрақтар. Ол келесідей есептеледі:

$$Accuracy = \frac{Дұрыс\ жауап\ берілген\ сұрақтар}{Жауап\ берілген\ барлық\ сұрақтар}$$

Дәлдік пен толықтық [25] - бұл ақпаратты іздеу тапсырмаларында жиі қолданылатын және QA жүйелеріне де қолданыла алатын екі метрика. Дәлдік берілген жауаптар арасында дұрыс жауаптардың пайызын өлшейді, ал толықтығы барлық ықтимал дұрыс жауаптар арасында дұрыс жауаптардың пайызын өлшейді. Бұл көрсеткіштер жүйенің нақты жауаптар беруге және тиісті ақпаратты анықтауға қаншалықты қабілетті екенін бағалауға көмектеседі. Дәлдік пен толықтық келесідей есептеледі:

$$Precision = \frac{Дұрыс\ жауап\ берілген\ сұрақтар}{Жауап\ берілген\ барлық\ сұрақтар}$$

$$Recall = \frac{Дұрыс\ жауап\ берілген\ сұрақтар}{Барлық\ дұрыс\ болуы\ мүмкін\ сұрақтар}$$

F1 Ұпайы [25] - бұл жүйенің дәлдігі мен толықтығын ескеретін Өлшем. Ол дәлдік пен толықтықтың гармоникалық орташа мәні ретінде есептеледі және жүйенің өнімділігін теңгерімді бағалауды қамтамасыз етеді. F1 ұпайы келесідей есептеледі:

$$F = \frac{2\ x\ Precision\ x\ Recall}{Precision\ x\ Recall}$$

Орташа кері дәреже (MRR) [26] - дұрыс жауаптардың рейтингін бағалайтын метрика. Ол бірінші дұрыс жауаптың кері дәрежесінің орташа мәнін өлшейді, мұнда жоғары дәреже төменгі балл алады. MRR келесідей есептеледі:

$$MRR = \frac{1}{сұрақтар\ саны} \times \sum_{i=1}^{сұрақтардың\ саны} \frac{1}{i\ сұраққа\ бірінші\ дұрыс\ жауаптың\ дәрежесі}$$

BLEU (Bilingual Evaluation Understudy) ұпайы [6] сұрақ-жауап жүйелерін қоса алғанда, табиғи тілді өңдеу тапсырмаларында жиі қолданылады. Ол жүйенің шығуы мен адам жасаған анықтамалық жауаптар арасындағы ұқсастықтарды сәйкестіктер негізінде өлшейді N-Ж. Бұл көрсеткіш әсіресе жүйенің табиғи және дәл тіл жасау қабілетін бағалау үшін пайдалы. BLEU ұпайы келесідей есептеледі:

$$BLEU = BP \times \exp\left(\sum_{n=1}^{N} w_n \log p_n\right)$$

мұндағы BP – жүйенің қысқа шығуы үшін жазалау үшін қолданылатын қысқа айыппұл, ал p_n n gram-ның дәлдігі, бұл пропорцияны өлшейді n-g анықтамалық жауаптарда да бар жүйенің шығуында. W_n салмақтары жоғары ретті n-граммдарға көбірек мән беру үшін қолданылады.

Дәл сәйкестік (EM) модель қате немесе қатесіз дұрыс жауап берген сұрақтардың пайызын өлшейді. EM модель нақты жауабын берген сұрақтар санының сұрақтардың жалпы санына қатынасы ретінде есептеледі.

4. Қорытынды

Құқықтанудағы сұрақ-жауап жүйелері (Legal Question Answering, LQA) — заңды сұрақтарға автоматты түрде жауап бере алатын модельдерді әзірлеуге бағытталған қарқынды дамып келе жатқан зерттеу бағыты.

Бұл шолуда заң саласындағы сұрақ-жауап жүйелері бойынша соңғы зерттеулерге кешенді шолу талқыланады. Біз осы зерттеулердің негізгі үлестерін атап өтеміз, соның ішінде Legal QA жүйелері үшін жаңа таксономияларды әзірлеу, терең оқыту және семантикалық талдау сияқты табиғи тілді өңдеудің озық әдістерін (Natural Language Processing, NLP) пайдалану және құқықтық сөздіктер мен білім базалары сияқты кең ресурстарды енгізу. Шолу сонымен қатар Legal QA жүйелері әлі де кездесетін әртүрлі қиындықтарды және осы саладағы болашақ зерттеулердің ықтимал бағыттарын талқылайды.

Осы саладағы одан әрі жұмыс қарапайым құқықтық сұрақтарға жауап бере алатын және сот практикасы мен заңдар сияқты құқықтық ақпараттың әртүрлі түрлерін елемейтін күрделі емес модельдерді құруға бағытталуы мүмкін. Зерттеудің перспективалы бағыттарының бірі-заңды сұрақтарға жауап беретін жүйелердегі BERT және GPT-3 сияқты алдын ала дайындалған тілдік модельдерден құтылу. Құқықтық саладағы сұрақ-жауап жүйелері, егер заңдық онтология және құқықтық құжаттардың графикалық көріністері сияқты басқа білім түрлері қолданылмаса, аз тиімді жұмыс істей алады. Сонымен қатар, суреттер мен бейнелер сияқты мультимодальды деректерді құқықтық саладағы сұрақ-жауап жүйелерінде қолдануға болмайды деген идея зерттеу үшін өте қызықты болмауы мүмкін. Сондай-ақ, осы жүйелерді оқыту және сынау үшін бізге кішірек және әр түрлі мәліметтер жиынтығы, сондай-ақ дәлдік пен толықтықты ескермейтін бағалау көрсеткіштері қажет. Ақырында, жүйелер заңды сұрақтарға қате немесе пайдасыз жауаптар бермейтініне көз жеткізу үшін машиналық бағалау сияқты сенімді бағалау әдістерін қолдану қажет.

Әдебиеттер тізімі

1. Allam AMN, Haggag MH.Сұрақ-жауап жүйелері: шолу. Int J Res Rev Inform Sci (IJRRIS). 2012;2(3).
2. Вестон Джей, Бордет, Чопра С, Раш АМ, Ван Мерриенбур Б, Джулин А, Миколов Т. Жасанды интеллектке қатысты-толық сұрақ-жауап: ойыншықтардың міндетті шарттарының жиынтығы. архив. 2015. https://doi.org/10.48550/arXiv.1502.05698
3. Devlin J, Chang M-W, Lee K, Toutanova K. Bert: pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. arXiv. 2018. https://doi.org/10.48550/arXiv.1810.04805.
4. Ханделвал У, Леви О, Джурафский Д, Зеттлемойер Л, Льюис М. есте Сақтау Арқылы Жалпылау: ең жақын көрші тілдік модельдер. In: Оқыту Өкілдіктері Бойынша Халықаралық Конференция (ICLR). 2020.
5. Choi E, He H, Iyyer M, Yatskar M, Yih W-T, Choi Y, Liang P, Zettlemoyer L. Quac: question answering in context. arXiv. 2018. https://doi.org/10.48550/arXiv.1808.07036

6. Комейли М., Шустер К., Уэстон Дж. интернеттегі диалогтардың кеңейтілген буыны. архив. 2021. https://doi.org/10.48550/архив.2107.07566.
7. Льюис П., Денойер Л., Ридель С. cloze translation Ұсынған Бақыланбайтын сұраққа жауап. архив. 2019. . https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.04980
8. Lin Z, Feng M, Santos CND, Yu M, Xiang B, Zhou B, Bengio Y. A structured self-attentive sentence embedding. arXiv. 2017. https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.03130.
9. Kassner N, Schütze H. BERT-kNN: Adding a kNN search component to pretrained language models for better QA. In: Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2020. Association for Computational Linguistics.
10. Fawei B, Pan JZ, Kollingbaum M, Wyner AZ. A semi-automated ontology construction for legal question answering. New Gener Comput. 2019;37(4):453–78.
11. Morimoto A, Kubo D, Sato M, Shindo H, Matsumoto Y. Legal question answering system using neural attention. COLIEE@ ICAIL. 2017;47:79–89.
12. Do P-K, Nguyen H-T, Tran C-X, Nguyen M-T, Nguyen M-L. Legal question answering using ranking SVM and deep convolutional neural network. arXiv. 2017. https://doi.org/10.48550/arXiv.1703.05320
13. Qu C, Yang L, Qiu M, Croft WB, Zhang Y, Iyyer M. Bert with history answer embedding for conversational question answering. In: Proceedings of the 42nd international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval. 2019. p. 1133–6
14. Perez E, Lewis P, Yih W-T, Cho K, Kiela D. Unsupervised question decomposition for question answering. arXiv. 2020. https://doi.org/10.48550/arXiv.2002.09758
15. Kim M-Y, Xu Y, Goebel R. Applying a convolutional neural network to legal question answering. In: JSAI International Symposium on Artifcial Intelligence. Springer. 2015. p. 282–94
16. Kim M-Y, Xu Y, Goebel R. A convolutional neural network in legal question answering. In: JURISIN Workshop. 2015
17. Baral C. Knowledge representation, reasoning and declarative problem solving. Cambridge: Cambridge University Press; 2003.
18. Wang Z, Ng P, Ma X, Nallapati R, Xiang B. Multi-passage BERT: a globally normalized BERT model for open-domain question answering. arXiv. 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1908.08167.
19. Pouyanfar S, Sadiq S, Yan Y, Tian H, Tao Y, Reyes MP, Shyu M-L, Chen S-C, Iyengar SS. A survey on deep learning: Algorithms, techniques, and applications. ACM Comput Surv. 2018. https://doi.org/10.1145/3234150
20. Duan X, Wang B, Wang Z, Ma W, Cui Y, Wu D, Wang S, Liu T, Huo T, Hu Z, et al. Cjrc: a reliable human-annotated benchmark dataset for Chinese judicial reading comprehension. In: Sun M, Huang X, Ji H, Liu Z, Liu Y, editors., et al., China national conference on Chinese computational linguistics. Berlin: Springer; 2019. p. 439–51.
21. Duong H-T, Ho B-Q. A Vietnamese question answering system in Vietnam's legal documents. In: Computer Information Systems and Industrial Management: 13th IFIP TC8 International Conference, CISIM 2014, Ho Chi Minh City, Vietnam, Nov 5–7, 2014. Proceedings 14. Springer. 2014. p. 186–97.
22. . Gupta P, Gupta V. A survey of text question answering techniques. Int J Comput Appl. 2012;53(4):1–8.
23. Martinez-Gil J. A survey on legal question answering systems. arXiv. 2021. https://doi.org/10.48550/arXiv.2110. 07333.
24. Ganguly D, Conrad JG, Ghosh K, Ghosh S, Goyal P, Bhattacharya P, Nigam SK, Paul S, et al. Legal IR and NLP: the history, challenges, and state-of-the-art. In: Kamps J, et al., editors. Advances in information retrieval. Cham: Springer; 2023. p. 331–40

25. Goutte C, Gaussier E. A probabilistic interpretation of precision, recall and F-score, with implication for evaluation. In: Losada DE, editor. Advances in Information Retrieval. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2005. p. 345–59. https://doi.org/10.1007/978-3-540-31865-1_25.

Рахимова Диана – аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, 050000, Алматы; e-mail: drakhimova060@gmail.com

Сарсенбаева Асия – докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, 050000, Алматы; as.sarsenbayeva@gmail.com

АНАЛИЗ СЫРЫХ ДАННЫХ СЕКВЕНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПАТОГЕНОВ

В.А. Шевцов, А.А. Исмаилова, Ж.Т. Бельдеубаева
НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан
e-mail: shevtsovvladislav111@gmail.com, a.ismailova@mail.ru

Аннотация. *Генотипирование патогенных бактериальных штаммов - это важная область в молекулярной эпидемиологии, направленная на определение генетической структуры микроорганизмов для отслеживания их распространения и контроля инфекций. Эффективный мониторинг патогенов критически важен для своевременного выявления вспышек инфекций, понимания механизмов их передачи и прогнозирования будущих угроз общественному здоровью. Одним из традиционных методов, широко использовавшихся для этих целей, является мульти-локусный анализ вариабельных тандемных повторов (MLVA), который применялся для генотипирования таких патогенов, как Brucella spp., Bacillus anthracis, Yersinia pestis и Francisella tularensis.*

История развития методов генотипирования. Развитие методов генотипирования прошло значительный путь, начиная с простейших методов ПЦР и электрофореза, использовавшихся для анализа специфических фрагментов ДНК. Однако, эти ранние методы имели ограниченные возможности по точности и охвату, что затрудняло различение штаммов с минимальными генетическими различиями [1][2].

С внедрением мульти-локусного последовательностного типирования (MLST), основанного на анализе нескольких генов, точность дифференциации штаммов существенно повысилась, однако этот метод также не предоставлял возможности проводить полный анализ генома [3]. В дальнейшем на смену этим подходам пришли методы анализа вариабельных тандемных повторов (MLVA), обеспечивающие более высокое разрешение на основе уникальных повторяющихся элементов в ДНК [4].

Секвенирование следующего поколения (NGS), такие как технологии Illumina и Oxford Nanopore, стало революционным шагом вперед. Секвенирование всего генома стало стандартом для изучения патогенных микроорганизмов. Например, технология Illumina MiSeq широко применялась для секвенирования геномов таких патогенов, как *Francisella tularensis* и *Bacillus anthracis*, обеспечивая высокую точность анализа [5]. Для более длинных последовательностей и сложных структурных вариаций применялись технологии на основе длинных чтений, такие как Nanopore, которые особенно эффективны для анализа сложных геномных регионов [6]. Метод MLVA был разработан для детектирования вариабельных повторов в ДНК патогенов, что позволяет дифференцировать штаммы по числу этих повторов в определённых локусах генома. Этот метод оказался чрезвычайно полезным для эпидемиологического мониторинга, так как позволяет выявить различия между штаммами, которые могут указывать на их географическое происхождение или происхождение вспышки инфекции. Кроме того, благодаря его простоте и точности, MLVA часто используется в лабораториях, специализирующихся на патогенах биобезопасности третьего и четвертого уровня, таких как Bacillus anthracis и Yersinia pestis. Однако с развитием технологий секвенирования, таких как полногеномное секвенирование (WGS), стало возможно проводить более детализированный анализ генома патогенов, что позволило повысить разрешающую способность генотипирования. WGS обеспечивает полное покрытие генома, включая вариабельные повторы, SNP (single nucleotide polymorphisms), инверсии и другие структурные вариации, которые могут оставаться незамеченными при использовании традиционных методов, таких как MLVA. Это особенно важно для патогенов, обладающих сложными или изменчивыми геномами, например, Francisella tularensis, для которых точное генотипирование критично для понимания механизмов патогенности и адаптации к различным условиям окружающей среды.

Переход от MLVA к WGS оказался не только возможным, но и необходимым. В то время как MLVA остается важным инструментом для генотипирования в некоторых случаях, особенно в

исследованиях с ограниченными ресурсами, WGS предоставляет гораздо более точные и полные данные о генетической структуре патогенов. Более того, WGS позволяет выявлять новые локусы и генетические элементы, которые ранее не могли быть определены с помощью MLVA. Однако при этом остаётся важной задача сопоставления данных, полученных с помощью этих двух методов. В переходный период требуется наличие биоинформатических инструментов, которые обеспечат сопоставимость данных и возможность их интеграции в единый эпидемиологический анализ

Цель исследования. Основная цель данного исследования - разработка универсального биоинформатического пайплайна для анализа сырых данных секвенирования бактериальных штаммов и интеграции данных, полученных с помощью MLVA и WGS, в единый эпидемиологический мониторинг. Этот инструмент обеспечивает высокую точность при работе с сырыми данными и устранить проблемы, связанные с традиционными методами сборки генома в виде неполной картины из-за отсутствия информации о локусах. Благодаря этому подходу возможно выявлять и анализировать вариабельные тандемные повторы (VNTR), что критически важно для понимания эпидемиологической значимости различных штаммов.

Материалы и методы. Для выполнения данного исследования были использованы данные секвенирования штаммов *Francisella tularensis*, полученные на платформе Illumina MiSeq. Эта технология обеспечивает высокое качество коротких чтений с длиной от 200 до 250 п.н., что идеально подходит для анализа небольших повторяющихся последовательностей. Однако для обеспечения более детализированного анализа были также использованы данные, полученные с помощью технологии Nanopore, которая позволяет получать более длинные чтения с меньшей точностью. В ходе работы использовались гибридные сборки, где данные с обеих платформ комбинировались для получения наиболее полного представления о геноме патогена.

Пайплайн был разработан на языке программирования Python3 с использованием библиотеки Biopython для обработки данных секвенирования. В процессе разработки было уделено особое внимание оптимизации работы с сырыми данными и интеграции результатов с MLVA данными. Важной частью работы стало тестирование пайплайна на 20 штаммах *Francisella tularensis*, в ходе которого были идентифицированы ключевые локусы вариабельных повторов, такие как Ft-M1_3bp_83bp_3u, Ft-M2_6bp_90bp_4u, и другие.

Результаты исследования. В результате тестирования пайплайна (Рисунок 1) на данных 20 штаммов *Francisella tularensis* было выявлено более 25 локусов вариабельных тандемных повторов (Таблица 1), что подтверждает высокую точность работы программы. Например, локус Ft-M1_3bp_83bp_3u был идентифицирован как один из ключевых локусов, определяющих изменчивость штаммов

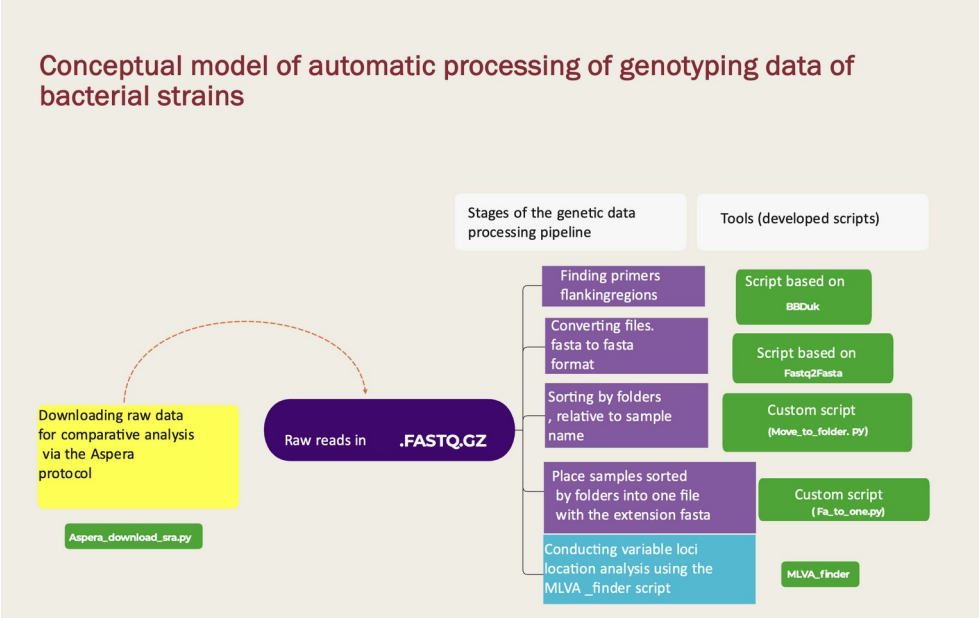


Рисунок 1- Концептуальная модель пайплайна по проведению MLVA анализа бактериальных штаммов

Таблица 1 – Пример данных получаемых на выходе с размером аллелей и процентом достоверности (приведена часть таблицы).

П/П	Access_number	Ft-M1_3bp_83bp_3u	Ft-M2_6bp_90bp_4u	Ft-M4_5bp_85bp_3u	Ft-M5_16bp_106bp_3u	Ft-M6_21bp_140bp_4u	Ft-M7_16bp_123bp_4u	Ft-M9_16bp_135bp_4u
1	F-tul-med-4_S10_L001_combined	4-101 78.29% 3-28	2-22 100.00%	4-12 3-64 84.21%	2-27 84.38% 11-4 5-1	3-57 96.61% 5-2	2-20 100.00%	2-9 81.82% 3-2
2	F-tul-med-9_S8_L001_combined	4-122 100.00%	2-127 100.00%	3-113 100.00%	7-1 2-2 50.00% 13-1	3-56 100.00%	2-84 100.00%	3-2 100.00%
3	F-tul-med-2_S27_L001_combined	4-145 100.00%	2-183 100.00%	3-140 100.00%	5-69 100.00%	2-87 100.00%	2-136 100.00%	3-1 100.00%
4	F-tul-med-3_S17_L001_combined	4-178 100.00%	2-159 100.00%	3-134 100.00%	5-93 97.89% 2-2	2-63 100.00%	2-1 100.00%	3-1 100.00%
5	F-tul-med-5_S1_L001_combined	4-100 100.00%	2-124 100.00%	3-67 100.00%	10-8 100.00%	3-59 100.00%	2-87 100.00%	3-57 100.00%
6	F-tul-med-1_S2_L001_combined	4-92 98.92% 3-1	2-115 100.00%	3-86 100.00%	11-2 66.67% 2-1	3-44 100.00%	2-77 100.00%	3-57 100.00%
7	F-tul-med-7_S15_L001_combined	3-231 100.00%	2-177 100.00%	4-122 100.00%	2-174 100.00%	5-33 100.00%	2-92 100.00%	2-79 100.00%
8	F-tul-med-11_S18_L001_combined	4-149 100.00%	2-193 100.00%	3-152 100.00%	4-63 96.92% 2-2	3-76 100.00%	2-157 100.00%	3-80 97.56% 2-2
9	F-tul-med-6_S13_L001_combined	4-149 100.00%	2-130 100.00%	3-112 100.00%	11-11 100.00%	3-80 100.00%	2-86 100.00%	3-79 100.00%
10	F-tul-med-8_SallCombined	4-365 99.46% 3.5-2	2-369 100.00%	3-337 100.00%	11-19 95.00% 2-1	3-209 100.00%	2-9 100.00%	3-1 100.00%
11	F-tul-med-10_SallCombined	4-377 99.74% 3.5-1	2-308 100.00%	3-277 100.00%	11-26 78.79% 2-6 7-1	3-173 100.00%	2-2 100.00%	3-1 100.00%

Более того, разработанный пайплайн показал возможность выявления контаминации штаммов, что делает его особенно полезным для эпидемиологических исследований, так как обычно при загрузке образцов в секвенатор используется выборка из нескольких десятков образцов, что повышает такие риски как контаминация связанная с остатками от предыдущих образцов или человеческим фактором.

Проблемы и решения при анализе сырых данных. Работа с сырыми данными секвенирования сопряжена с рядом проблем, таких как низкое качество некоторых чтений и необходимость предварительной фильтрации данных перед их анализом. Например, данные, полученные с помощью технологии Nanopore, часто содержат больше ошибок по сравнению с Illumina, что потребовало дополнительного этапа препроцесинга данных.

Заключение. Таким образом, был разработан пайплайн для проведения MLVA анализа бактериальных штаммов, который нашел применение и доказал свою эффективность на 20 штаммов *F. Tularensis.* Результаты показывают, что использование данных MLVA совместно с метаданными штаммов позволяет выявить происхождение штаммов и определить их эпидемиологическую связь с зарегистрированными случаями.

Работа выполнена при поддержке КН МНВО РК в рамках программы финансирования научных исследований на 2023–2025 годы, ИРН проекта AP19678041 («Разработка программного обеспечения для идентификации тандемных повторов при полногеномном секвенировании»).

Список литературы

1. Holliday, J. A., Hallerman, E. M., & Haak, D. C. (2019). Genotyping and sequencing technologies in population genetics and genomics. Population genomics: Concepts, approaches and applications, 83-125.
2. Kulski, J. K. (2016). Next-generation sequencing—an overview of the history, tools, and "Omic" applications. Next generation sequencing-advances, applications and challenges, 10, 61964.
3. Stessl, B., Wagner, M., & Ruppitsch, W. (2021). Multilocus sequence typing (MLST) and whole genome sequencing (WGS) of Listeria monocytogenes and Listeria innocua. *Listeria Monocytogenes: Methods and Protocols*, 89-103.
4. van Poecke, R. M., Maccaferri, M., Tang, J., Truong, H. T., Janssen, A., van Orsouw, N. J., ... & van der Vossen, E. A. (2013). Sequence-based SNP genotyping in durum wheat. *Plant Biotechnology Journal*, *11*(7), 809-817.
5. Stevens, B. M., Creed, T. B., Reardon, C. L., & Manter, D. K. (2023). Comparison of Oxford Nanopore Technologies and Illumina MiSeq sequencing with mock communities and agricultural soil. *Scientific Reports*, *13*(1), 9323.
6. Bogaerts, B., Winand, R., Van Braekel, J., Hoffman, S., Roosens, N. H., De Keersmaecker, S. C., ... & Vanneste, K. (2021). Evaluation of WGS performance for bacterial pathogen characterization with the Illumina technology optimized for time-critical situations. *Microbial Genomics*, *7*(11), 000699.
7. Ranjbar, R., Karami, A., Farshad, S., Giammanco, G. M., & Mammina, C. (2014). Typing methods used in the molecular epidemiology of microbial pathogens: a how-to guide. *New Microbiologica*, *37*(1), 1-15.

Шевцов В.А. – e-mail: shevtsovvladislav111@gmail.com,
Исмаилова А.А – a.ismailova@mail.ru,
Бельдеубаева Ж.Т. – НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Астана, Казахстан, 010000

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГЛАЗНОГО ДНА С ГЛУБОКИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ЗРИТЕЛЬНОГО ДИСКА И ЗРИТЕЛЬНОЙ ЧАШИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ГЛАУКОМЫ

Кымбат Момынжанова
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
kymbat_momynzhanova87@mail.ru

Аннотация. *Глаукома является неизлечимое заболевание, приводящее к потере зрения. Ранняя диагностика и выявление этой патологии дают преимущество в замедлении прогрессирования глаукомы. Точная сегментация диска зрительного нерва (OD) и зрительного бокала (OC) полезна для диагностики глаукомы. В последние годы глубокое обучение достигло замечательных результатов в сегментации OD и OC. Однако сегментация OC сложнее, чем сегментация OD из-за высокой изменчивости формы и нечетких границ, что снижает производительность моделей для обнаружения и сегментации OC. В данной работе рассматриваются методы обработки изображений глазного дна для выявления патологии глаукомы, ее локализации и анализа ее изменений с течением времени, что имеет решающее значение для точной диагностики. Метод регистрации изображений глазного дна и математические модели играют важную роль в описании изображений глазного дна. Модель пространства изображений, в частности, предоставляет мощные аналитические инструменты для изучения этих изображений. Дальнейшая обработка изображений осуществляется на основе соседних пикселей, что позволяет производить точную трансформацию изображений на основе значений яркости в локальных областях.*

Ключевые слова*: глаукома, нейронная сеть, предварительная обработка изображений, классификация, медицинская диагностика.*

Введение

Глаукома является второй по значимости причиной необратимой слепоты в мире после катаракты и рефракционных нарушений, составляя почти 8% от глобальной слепоты. Глобальная заболеваемость глаукомой составила более 60,5 млн человек в 2020 году и, по оценкам, достигнет 80 млн к 2025 году и 111,8 млн к 2040 году. Самый высокий показатель в Индии – 23,5%. В Европе глаукомой страдают 7,8 млн человек, а общая распространенность составляет 2,51%.

Наиболее распространенным типом глаукомы в Великобритании является первичная открытоугольная глаукома (OPEG), поражающая 2% людей старше 40 лет и 10% людей старше 75 лет, особенно афро-карибского происхождения; PVCG не так распространена среди людей моложе 40 лет и поражает всего 0,17% людей.

Распространенность глаукомы увеличивается с возрастом и, таким образом, может быть связана с возрастными состояниями, такими как дегенерация желтого пятна, сосудистые заболевания и обструктивное апноэ сна. Ее распространенность самая высокая среди пожилых латиноамериканцев (18%), чернокожих (15%), белых (7%) и азиатов (5%). Наконец, существуют также гендерные различия в глаукоме: распространенность глаукомы на 36% выше у мужчин, чем у женщин [1].

Глаукома — нейропатическое заболевание, характеризующееся дегенерацией ганглиозных клеток [2, 3]. Так, атрофия волокон зрительного нерва сопровождается эрозией ткани ободка, что проявляется купулозным расширением. На сегодняшний день выявление глаукоматозных структурных повреждений и изменений является одним из наиболее сложных аспектов методов диагностики заболевания [4, 5]. Кроме того, глаукому обычно диагностируют путем измерения внутриглазного давления (ВГД), которое должно быть

больше 22 мм рт. ст. без лечения, глаукоматозной экскавации диска зрительного нерва и глаукоматозных дефектов поля зрения [3].

1. Описание проблемы диагностики глаукомы в автоматическом режиме

Одной из самых больших проблем в диагностике глаукомы является бессимптомный аспект заболевания до тяжелых стадий. Таким образом, число недиагностированных пациентов превышает число диагностированных [6]. Однако размер и форма диска зрительного нерва являются еще одним важным аспектом, который следует учитывать при диагностике глаукомы [7]. Поэтому вертикальное увеличение экскавации является признаком глаукоматозной нейропатии зрительного нерва. При анализе изображения рис. 1 в, г получается увеличение экскавации по сравнению с рис. 1 а и б. Это явный признак глаукомы [8].

Обработка изображений глаукомы с целью выявления патологии, ее локализации и анализа динамики изменений в автоматическом режиме является чрезвычайно важным элементом диагностики. Нейронные сети широко и эффективно применяются для решения задач обработки и распознавания изображений. В этой интенсивно развивающейся области исследований постоянно появляются новые задачи, связанные с разработкой новых структур глубоких нейронных сетей, целью которых является повышение вероятности получения диагностической информации при полной автоматизации диагностической процедуры. В статье предложены и исследованы метод получения изображений глазного дна, методы предобработки изображений для дальнейшего обучения нейронной сети для выявления и классификации патологий.

2. Метод регистрации изображений глазного дна

Решение задач обработки сложных изображений глаукомы, для которых актуальны вопросы сегментации изображения и формального описания его частей для корректного распознавания патологий, является актуальным исследование новых методов нейроподобной обработки и разработка нейронных сетей с глубоким обучением и последующим анализом результатов для компактного представления данных с большей гибкостью в выборе и обработке признаков при сохранении их простоты и помехоустойчивости.

Разработан метод регистрации изображений глазного дна для изучения проблем диагностики глаукомы. Устройством, реализующим метод получения, идентификации и хранения изображений глазного дна, является смартфон на базе операционной системы Android. Структурная схема метода представлена на рисунке 2.

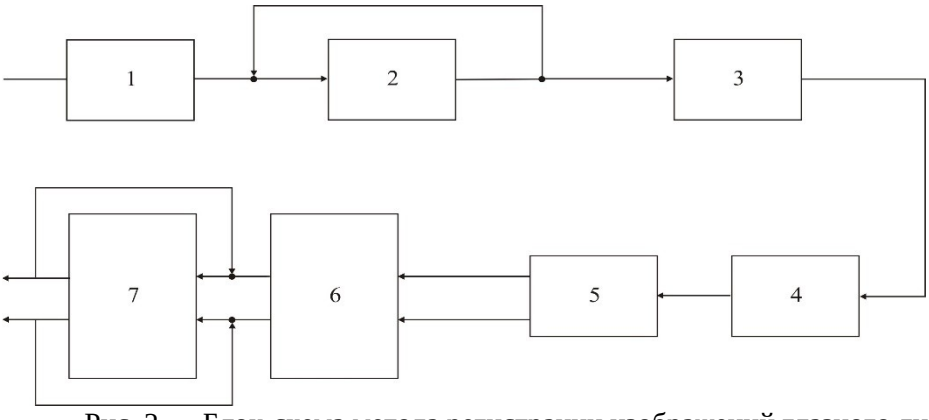


Рис. 2 — Блок-схема метода регистрации изображений глазного дна

Исходное изображение регистрируется камерой смартфона 1 и с помощью функции JfaceDetector_Face [9] в блоке 2 идентифицируется лицо и вычисляется средняя точка лица с помощью функции SrcFace.getMidPoint(Point) и расстояние между глазами D с помощью функции SrcFace.eyesDistance.

Далее, в блоке 3, положение глаз рассчитывается на основе средней точки SrcFace и расстояния между глазами:

$$d_L = f(x - 0.5 * D, y), \quad (1)$$

$$d_R = f(x + 0.5 * D, y)$$

где f — вектор положений точек в плоскости x, y;
D - расстояние между глазами;
dL – положение левого глаза;
dR — положение правого глаза.

Вы также можете использовать функцию *SrcFace.pose* для выполнения поворота положения глаз вокруг центра, однако на большинстве устройств Android Pose всегда возвращает 0.

Блоки 4 и 5 выполняют масштабирование и поворот изображения (при необходимости) для дальнейшей диагностики. Левое и правое изображения поступают на вход блока 6 eye . В этом блоке выполняется обработка изображений левого и правого глаза с целью регистрации глазного дна путем применения фильтра (монохроматический, цветной, пиксельный и т.д.). Блок 7 выполняет поиск оптимального решения для выявления признаков глаукомы и дальнейшей классификации заболевания.

3. Математические модели регистрации и обработки изображений глазного дна

Одной из математических моделей описания изображений является присвоение значения цвета каждой точке в Rn. Таким образом, непрерывное изображение представляет собой функцию f из Rn (или подмножества Rn) в цветовое пространство (цветовая модель RGB). Например, каждой паре координат (x, y) можно присвоить красный, зеленый и синий цвет (3-6) [10]:

$$R_r = f_r(x, y), \quad (3)$$
$$R_g = f_g(x, y), \quad (4)$$
$$R_b = f_b(x, y), \quad (5)$$
$$R_{x,y} = (R_r, R_g, R_b). \quad (6)$$

Эта модель пространства изображений является эффективной, поскольку аналитические инструменты можно использовать для обработки изображений.

Например, применение красного цветового фильтра к прямоугольной области изображения x, y можно представить следующим образом:

$$\int_a^b \int_c^d f_r(x, y)\, dxdy \quad (7)$$

Модель изображения как набор векторов особенно удобна для картографических операций в пространстве изображения.

Другой способ представления изображений таким образом — моделирование изображения как набора векторов. Пусть V будет подмножеством векторов из Rn, а C — цветовым пространством. Тогда подмножество V×C может представлять изображение. Каждый пиксель в изображении представлен вектором, указывающим местоположение этого пикселя, и он объединен с . Это указывает цвет этого пикселя. Например, ((25,−50),green) будет представлять зеленый пиксель на 25 единиц выше и на 50 единиц левее начала координат.$v \in Vc \in C$

Пусть M — набор цветовых векторов, представляющих изображения. Чтобы увеличить или уменьшить изображение (известное как равномерное масштабирование St), вам нужно умножить каждый вектор в M на кратное единичной матрицы [10]. Итак:

$$S_t(M)=\left\{\left(\begin{bmatrix} t & 0 \\ 0 & t \end{bmatrix} v, c \middle| (v,c)\in M\right)\right\}, \tag{8}$$

где t — коэффициент масштабирования.

Аналогично вращение Ro описывается как:

$$R_o(M)=\left\{\left(\begin{bmatrix} \sin(o) & -\cos(o) \\ \cos(o) & \sin(o) \end{bmatrix} v, c \middle| (v,c)\in M\right)\right\}, \tag{9}$$

где o — угол поворота.

При наличии двух изображений легко определить, является ли одно из них равным по масштабу другому, то есть необходимо нормализовать оба изображения, чтобы сделать вывод об их равенстве.

Основные выражения, которые описывают операции в пространстве изображений, следующие:

- горизонтальное масштабирование Sh(10);
- вертикальное масштабирование Sr(11);
- Обрезка изображения Cs (12):

$$S_h(M)=\left\{\left(\begin{bmatrix} h & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} v, c \middle| (v,c)\in M\right)\right\}, \tag{10}$$

$$S_r(M)=\left\{\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & r \end{bmatrix} v, c \middle| (v,c)\in M\right)\right\}, \tag{11}$$

$$C_s(M)=\left\{\left(\begin{bmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} v, c \middle| (v,c)\in M\right)\right\}, \tag{12}$$

где h — коэффициент горизонтального масштабирования;

r — коэффициент вертикального масштабирования;

s — кроп-фактор изображения.

Наконец, получается выражение для всех обратимых линейных преобразований Ta,b,c,d [10]:

$$T_{a,b,c,d}(M)=\left\{\left(\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} v, c \middle| ac-bd\neq 0, (v,c)\in M\right)\right\}. \tag{13}$$

4. Применение фильтра для обработки изображений

Дальнейшая обработка изображения основана на пикселях в небольшом диапазоне (соседних). Это означает, что преобразованная интенсивность определяется значениями серого в этих точках внутри столбцов, и, таким образом, улучшение пространственной области также называется операцией столбцов или обработкой столбцов.

Операция фильтрации, основанная на пространственной среде xy, называется фильтрацией в пространственной области [11].

Красный, синий, зеленый фильтры

Процесс фильтрации заключается в перемещении фильтра по точкам в функции изображения (6) таким образом, чтобы центр фильтра совпадал с точкой (x, y). В каждой точке (x, y) отклик фильтра вычисляется на основе конкретного содержимого фильтра и через предопределенное отношение, называемое шаблоном.

Если пиксель в окрестности вычисляется как линейная операция (3), это также называется линейной фильтрацией пространственной области [11].

Некоторые фильтры позволяют производить операции с цветовыми тонами изображения. Цветовой фильтр F1 увеличивает интенсивность красного , синего и зеленого компонентов каждого пикселя (3-5):

$$F_{1x,y}=1.2\left(R_r,R_g,R_b\right) \tag{14}$$

Таким образом, цветовая составляющая каждого пикселя увеличилась на 20% [12].

Монохроматический фильтр

Метод усреднения принимает среднее значение R, G и B как значение градаций серого [13]:

$$F_2=\left(R+G+B\right)/3 \tag{15}$$

Теоретически формула (15) верна. на 100% Но на момент написания программного обеспечения и выполнения программного кода При обработке изображений возникает ошибка переполнения uint8 — сумма R, G и B превышает 255. Чтобы избежать ошибок переполнения , R, G и B следует рассчитывать соответствующим образом:

$$F_2=\frac{R}{3}+\frac{G}{3}+\frac{B}{3}. \tag{16}$$

Средний метод прост, но он не работает так эффективно, как ожидалось. Причина в том, что глаза людей по-разному реагируют на цветовую модель *RGB*. Глаза наиболее чувствительны к зеленому свету, наименее чувствительны к красному свету и наименее чувствительны к синему свету. Поскольку три цвета должны иметь разные веса в распределении, то это приводит к использованию весовой метод.

Метод взвешивания, также известный как метод яркости, взвешивает красный, зеленый и синий цвета в соответствии с их длинами волн [13]:

$$F_2=0.299\,R+0.587\,G+0.114\,B. \tag{17}$$

Фильтры обнаружения границ объектов

Границы объектов обычно являются одной из важнейших характеристик изображения, поэтому они часто используются для измерений после применения подходящего фильтра. Таким образом, обнаружение границ является очень важным этапом предварительной обработки изображения для любого процесса обнаружения или распознавания объектов. Простые фильтры обнаружения границ основаны на

аппроксимации градиентных изображений [14].

Операторы Превитта F3x(x, y) и F3y(x, y) можно представить в виде:

$$\text{для F3x(x, y):} \quad \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0, \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \tag{18}$$

$$\text{для F3y(x, y):} \quad \begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{matrix}. \tag{19}$$

Оператор Собеля F4x(x, y) и F4y(x, y) можно представить в виде:

$$\text{для F4x(x, y):} \quad \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2, \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix} \tag{20}$$

$$\text{для F4y(x, y):} \quad \begin{matrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}. \tag{21}$$

Оператор Лапласа F5(x, y) является приближением производной второго порядка, которая определяет переход через ноль. Например, лапласиан 3x3 можно представить как:

$$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1. \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix} \tag{22}$$

Величина и направление градиента.

Величина градиента на изображении идет в обоих направлениях *Ix(x, y)* и Iy (x, y) . Градиент четко определяет границы объекта. Тогда как угол градиента представляет собой направление края или направление изменения интенсивности [15] .

Величина градиента определяется как:

$$I_{xy} = \sqrt{I_x(x,y)^2 + I_y(x,y)^2}. \tag{23}$$

Направление градиента определяется как:

$$I_0 = \tan^{-1} \frac{I_y(x,y)}{I_x(x,y)}. \tag{24}$$

5. Программное обеспечение для предварительной обработки изображений

Для изучения проблем диагностики глаукомы разработан программный продукт автоматизированного рабочего места врача-офтальмолога (рис. 3).

Приложение разработано для операционной системы Android. Разработанный метод регистрации изображений обеспечивает:

1. получение изображения лица пациента с помощью камеры смартфона и его идентификация с помощью встроенного программного обеспечения операционной системы;

2. выбор областей левого и правого глаза и размещение изображений в отдельных областях для детального изучения;

3. масштабирование изображений левого и правого глаза.

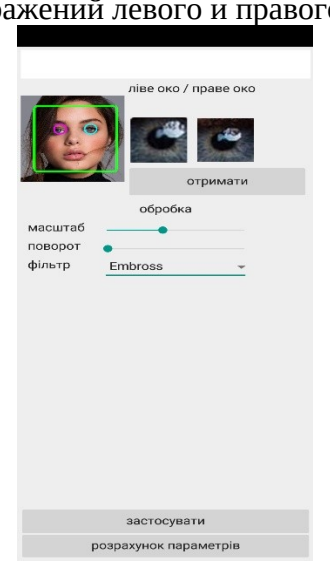


Рисунок 3 – Программное обеспечение для автоматизированного рабочего места врача-офтальмолога

Выводы

1. Проведен аналитический обзор проблем диагностики глаукомы в автоматическом режиме. Установлено, что одной из самых больших проблем в диагностике глаукомы является бессимптомное течение заболевания до тяжелых стадий. Таким образом, количество недиагностированных пациентов превышает количество диагностированных. Обработка изображений глаукомы с целью выявления патологии, ее локализации и анализа динамики изменений в автоматическом режиме является чрезвычайно важным элементом диагностики.

2. Разработан способ регистрации изображений глазного дна. Устройством, реализующим способ получения, идентификации и хранения изображений глазного дна, является смартфон на базе операционной системы Android.

3. Формализованы математические модели для описания изображений глазного дна. Модель пространства изображений является мощной, поскольку аналитические инструменты могут быть использованы для изучения изображений. Дальнейшая обработка изображений основана на пикселях в небольшом диапазоне (соседних). Это означает, что преобразованная интенсивность определяется значениями серого в этих точках в пределах са.

4. Разработан программный инструмент автоматизированного рабочего места врача-офтальмолога для изучения проблем диагностики глаукомы. Приложение разработано для операционной системы Android. Разработанный метод регистрации изображений включает получение изображения лица пациента с помощью камеры смартфона и его идентификацию встроенными программными средствами операционной системы, выделение областей левого и правого глаза и размещение изображений в отдельных областях для детального рассмотрения, масштабирование изображений левого и правого глаза и дальнейшую обработку для получения изображений глазного дна с использованием фильтров.

Литературы

1. Глобальная распространенность глаукомы и прогнозы бремени глаукомы до 2040 года: систематический обзор и метаанализ. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0161642014004333 .

2. Али Н., Ваджид СА, Саид Н., Хан МД. Относительная частота и факторы риска первичной открытоугольной глаукомы и закрытоугольной глаукомы. Pak J Ophthalmol. 2007;23(3):117–21. https://pjo.org.pk/index.php/pjo/article/view/766 .

3. Международный совет офтальмологов: Рекомендации по уходу за глазами при глаукоме. http://www.icoph.org/downloads/ICOGlaucomaGuidelines.pdf .

4. Боланд М.В., Эрвин А.М., Фридман Д.С., Джампель Х.Д., Хокинс Б.С., Фолленвейдер Д., Челладурай И., Уорд Д., Суарес-Куэрво К., Робинсон КА. Сравнительная эффективность методов лечения открытоугольной глаукомы: систематический обзор для целевой группы профилактических служб США. Ann Intern Med. 2013;158(4):271–9. https://www.acpjournals.org/doi/10.7326/0003-4819-158-4-201302190-00008 .

5. Дивья Л., Джейкоб Дж. Анализ эффективности подходов к обнаружению глаукомы по изображениям глазного дна. Proc Comput Sci. 2018;143:544–51. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050918321276 .

6. Burgoyne CF, Downs JC, Bellezza AJ, Suh J-KF, Hart RT. Головка зрительного нерва как биомеханическая структура: новая парадигма для понимания роли стресса и деформации, связанных с ВГД, в патофизиологии глаукоматозного повреждения головки зрительного нерва. Prog Retin Eye Res. 2005;24(1):39–73. https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1350946204000539 .

7. Зангалли С., Гупта С.Р., Спаэт Г.Л. Диск как основа лечения глаукомы. Saudi J Ophthalmol. 2011;25(4):381–7. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319453411000993?via%3Dihub .

8. Машинное обучение, применяемое для обработки изображений сетчатки для обнаружения глаукомы: обзор и перспективы. https://biomedical-engineering-online.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12938-020-00767-2 .

9. Руководство по распознаванию лиц. https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/face_detector .

10. Математические модели обработки изображений. https://scholarship.claremont.edu/hmc_theses/188/ .

11. Обработка изображений 101 Глава 2.3: Пространственные фильтры (свертка). https://www.dynamsoft.com/blog/insights/image-processing/image-processing-101-spatial-filters-convolution/ .

12. Математика, объясняющая ваш фотофильтр. https://www.matemagi.com/blog/the-mathematics-that-explains-your-photo-filter .

13. Обработка изображений 101 Глава 1.3: Преобразование цветового пространства. https://www.dynamsoft.com/blog/insights/image-processing/image-processing-101-color-space-conversion/ .

14. Фильтрация изображений и обнаружение краев. https://sbme-tutorials.github.io/2018/cv/notes/4_week4.html#edge-detection-kernels .

15. Оркен Мамырбаев, Сергей Павлов, Александр Карась, Иосип Салдан, Кымбат Момынжанова, Шолпан Жумагулова. Повышение надежности диагностики диабетической ретинопатии на основе машинного обучения , Восточно -Европейский журнал передовых технологий , 2024/4/1 , Том . 128. Выпуск . 9. – DOI : 10.15587/1729-4061.2024.297849 .

Кымбат Момынжанова – докторант. Казахский национальный Университет имени аль-Фараби, Факультет информационных технологий, 050038, г. Алматы, Казахстан
e-mail: kymbat_momynzhanova87@mail.ru

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ

Д. М. Бешеев
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Аннотация. *В работе исследуются прямые и обратные задачи для уравнений Максвелла в квазистационарном приближении, с применением к определению проводимости неоднородных сред. Подобные задачи возникают при изучении геофизических характеристик дорожных покрытий автомобильных дорог. Цель решения обратной задачи заключается в определении проводимости неоднородных сред на основе данных георадара и дополнительной информации, а именно, горизонтальной компоненты электромагнитного поля в точке наблюдения. Для решения обратной задачи используется классический оптимизационный метод, заключающийся в минимизации квадратичных функционалов, отражающих расхождение между наблюдаемыми и вычисленными полями.*

Ключевые слова: *георадар, квазистационарное приближение, минимизация квадратичных функционалов, уравнение Максвелла, геофизика*

Введение

Рассматривается система уравнений Максвелла при условии, что источником служит длинный кабель, расположенный вдоль дневной поверхности, а проводимость среды зависит только от глубины. В таком случае задача сводится к одномерной модели уравнений геоэлектрики в квазистационарном приближении [1].

Подобные прямые и обратные задачи были сформулированы и исследованы В.Г. Романовым и С.И. Кабанихиным [2]. В данной работе рассматривается уравнение для воздуха, где проводимость принимается за ноль. Это позволяет определить краевые условия на границе и вывести аналитическое решение. Предполагается, что дополнительная информация в виде краевых условий может быть рассчитана, что позволяет задать граничные условия на границе. Это, в свою очередь, уменьшает объем вычислительной области для численного решения задачи. Для такой постановки задачи строится функционал невязки (оптимизационный метод), для которого также формулируется сопряженная задача.

Сопряженная задача должна обладать свойствами согласованности, однородности и консервативности. Коэффициенты в граничных условиях в этой задаче должны быть сдвинуты либо влево, либо вправо в зависимости от направления расчета, например, при прогонке слева или справа.

Для практического применения результатов используются данные георадара серии ОКО-2, которые служат дополнительной информацией при решении обратной задачи.

1. Постановка задачи

Как известно распространения электромагнитных волн в среде описывается системой уравнения Максвелла

$$\left\{ \varepsilon \frac{\partial}{\partial t} E - rot\, H + \sigma E + j^{cm} = 0,\ x_3 \neq 0,\quad \left(x_1, x_2, x_3\right) \in R^3, \text{¿¿¿} \right. \tag{1}$$

Квазистационарное приближение системы уравнения Максвелла будет иметь следующий вид, если в системе уравнений (1) токи смещения намного меньше токов проводимости:

$$\begin{cases} -rot\, H+\sigma E+j^{cm}=0, \; x_3\neq 0, \; (x_1, x_2, x_3)\in R^3, \\ \end{cases} \tag{2}$$

$E=(E_1, E_2, E_3)$, $H=(H_1, H_2, H_3)$ - векторы напряженности электрического и магнитного полей; μ - магнитная проницаемость среды; σ - проводимость среды; j^{cm} - плотность сторонних токов.

Рассмотрим геофизическую модель среды состоящая из двух полупространств: $R^3_- = \{ x \in R^3, x_3<0 \}$ - воздух; $R^3_+ = \{ x \in R^3, x_3>0 \}$ - земля.

Пусть источник стороннего тока j^{cm} имеет вид:

$$j^{cm}=(0, 1, 0)\, g(x_1)\; \delta(x_3)\; \theta(t), \tag{3}$$

тут: $g(x_1)$ - функция, описывающая поперечный размер источника, $\delta(x_3)$ - дельта функция Дирака.

Задание стороннего тока в виде (3) соответствует мгновенному включению тока, параллельно оси x_2, по времени порядка 20-40 нс (наносекунд).

На самой границе, где $x_3=0$, коэффициенты μ, σ имеют конечный разрыв (в воздухе они постоянные σ =0, а в земле считаем гладкими и ограниченными функциями), поэтому требуем выполнения условий:

$$E_j|_{x_3=-0}=E_j|_{x_3=+0}, \; H_j|_{x_3=-0}=H_j|_{x_3=+0}, \; j=1, 2 \tag{4}$$

считаем, что до момента времени $t=0$ поле отсутствует:

$$(E, H)|_{t<0}=0, \quad j^{cm}|_{t<0}=0 \tag{5}$$

Здесь прямая задача будет заключаться в нахождении $E=(E_1, E_2, E_3)$, $H=(H_1, H_2, H_3)$ как решение задачи (2)-(5) при заданных коэффициентах μ, σ.

Пусть относительно решения прямой задачи известна дополнительная информация вида:

$$E_j|_{x_3=0}=f_j(t), \quad j=1,2 \tag{6}$$

Тогда обратная задача состоит в определении μ, σ по известным (6) из соотношений (2)-(5).

Если источник электромагнитных волн j^{cm} имеет вид:

$$j^{cm}=(0,1,0)^{t} g(x_1)\ \delta(x_3)\ \theta(t),$$

и распространения электромагнитных волн в среде описывается системой уравнения Максвелла (2), (3)-(5). При предположении, что коэффициенты системы уравнений Максвелла не зависят от переменной x_2, в системе останутся ненулевыми только три компоненты E_2, H_1, H_3. и система сводится к уравнению относительно компоненты E_2.

При заданных μ, σ и стороннем токе j^{cm} найти E_2 из соотношений (4)-(6).

Пусть относительно решения прямой задачи (4)-(6) известна дополнительная информация:

$$E_2|_{x_3=+0}=\phi_{(1)}(x_1,t). \tag{7}$$

Условие (7) это след решения прямой задачи (4)-(6).

Поскольку $\sigma(x_3)=0$ в воздухе, то в полупространстве $\{x_3\le 0\}$ рассмотрим уравнение эллиптического типа:

$$\frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{1}{\mu}\frac{\partial}{\partial x_1}E_2\right)+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(\frac{1}{\mu}\frac{\partial}{\partial x_3}E_2\right)=0,\ x_3<0.$$

Полагая, что функции $\sigma(x)$ зависит от глубины x_3, и применяя преобразование Фурье $F_{x_1}[x]$, получим задачу:

$$\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\upsilon-\lambda^2\upsilon=0,\quad x_3\in R_-, \tag{8}$$

$$[\upsilon]_{x_3=0}=0,\quad \left[\frac{\partial}{\partial x_3}\upsilon\right]_{x_3=0}=\mu\, b_\lambda g'(t), \tag{9}$$

$$\upsilon|_{t=0}=0, \tag{10}$$

$$\sigma(x_3)\frac{\partial}{\partial t}\upsilon=\frac{1}{\mu}\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\upsilon-\frac{1}{\mu}\lambda^2\upsilon,\quad x_3\in R_+, \tag{11}$$

здесь: $\upsilon=F_{x_1}[E_2(x_1,x_3,t)]$, $b_\lambda=F_{x_1}[b(x_1)]$ - образы Фурье преобразований функции E_2 и $b(x_1)$.

Будем рассматривать прямую и обратную задачу только на земле ($x_3>0$) с условием на границе $x_3=0$ вида:

$$\left(\upsilon_{x_3}-|\lambda|\,\upsilon\right)_{x_3=0}=\mu b_\lambda g'(t). \tag{12}$$

Вывод этого условия поясняется следующим образом: запишем общее решение уравнения (8):

$$\upsilon(x_3)=C_1\exp\left(-|\lambda|x_3\right)+C_2\exp\left(|\lambda|x_3\right),\quad x_3\in R_-$$

Условию затухания решения при $x_3\to-\infty$ соответствует $C_1=0$.

Из условий сопряжений (9) имеем

$$C_2\exp\left(|\lambda|\,x_3\right)|_{x_3=-0}=\upsilon|_{x_3=+0},$$

$$|\lambda|C_2\exp\left(|\lambda|\,x_3\right)|_{x_3=-0}=\frac{\partial}{\partial x_3}\upsilon|_{x_3=+0}-\mu\, b_\lambda\, g'(t).$$

откуда, исключая константу C_2, получим условие (12).

Тут прямая задача сводится к нахождению функции удовлетворяющую условию (12) и начальному условию (10) и уравнению (11).

Если допустить, что относительно решения прямой задачи известна дополнительная информация:

$$\upsilon(0,t;\sigma)=f(t),\qquad t>0, \tag{13}$$

То обратная задача будет сводится к нахождению в области $\{x_3>0\}$ коэффициент $\sigma(x_3)$ и функцию $\upsilon(x_3,t)$ из соотношений (11)-(12) по известной (13).

2. Численные расчеты

Для численных расчётов ограничимся конечной областью $x_3\in(0,l)$.

Если считать параметр l достаточно большим, учитывая при этом условия убывания $\upsilon(x_3,t)$ при $x_3\to\infty$, то

$$\upsilon|_{x_3=l}=0.$$

Граничное условие при $x_3=l$ можно аппроксимировать значительно точнее:

$$\left(\upsilon_{x_3}+|\lambda|\,\upsilon\right)_{x_3=l}=0. \tag{14}$$

Условие (14) легко получить по аналогии с выводом (12).

Применим оптимизационный метод для решения обратной задачи в квазистационарном приближении [6].

Конкретизируем постановку рассматриваемой задачи. Требуется в области $Q=[0,l]\times[0,T]$ найти решение следующей задачи [5]:

$$\sigma(x_3)\frac{\partial}{\partial t}\upsilon=\frac{1}{\mu}\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\upsilon-\frac{1}{\mu}\lambda^2\upsilon, \quad (x_3,t)\in Q, \tag{15}$$

$$\upsilon(x_3,0)=0, \quad x_3\in(0,l), \tag{16}$$

$$(\upsilon_{x_3}-|\lambda|\upsilon)_{x_3=0}=\mu\, b_\lambda\, g'(t), \tag{17}$$

$$\upsilon(l,t)=0, \quad t\in(0,T). \tag{18}$$

Пусть относительно решения прямой задачи (15)-(18) известна дополнительная информация:

$$\upsilon(0,t;\sigma)=f(t).$$

Приведем задачу (15)-(18) к удобному виду для численной реализации.

Введем новые переменные (Преобразование годографа) [2]:

$$z=\theta(x_3),\ \theta(x_3)=\int_0^{x_3}\frac{1}{c(\xi)}d\xi,\ c^2(x_3)=\frac{1}{\mu\delta(x_3)}$$

и новые функции

$$S(z)=\left[\frac{c(x_3)}{c(0)}\right]^{1/2}, \quad u(z,t)=\upsilon(x_3,t),S(z).$$

Тогда задача (15)-(18) примет вид:

$$u_t=u_{zz}-a(z)\,u, \quad z\in(0,L), \tag{19}$$

$$\left[u_z-\frac{|\lambda|}{\sqrt{\mu\delta(+0)}}u\right]_{z=0}=\mu\, b_\lambda\, g'(t), \tag{20}$$

$$u(L,t)=0, \quad t\in(0,T), \tag{21}$$

$$u(z,0)=0, \quad z\in(0,L), \quad L=\theta(l). \tag{22}$$

Дополнительные информации имеет вид:

$$u(0,t;a)=f(t), \quad t\in(0,T). \tag{23}$$

Обратную задачу об определении функции $a(z)$ по известной (23) будем решать оптимизационным методом.

Пусть $q(z)$ - приближенное решение обратной задачи. Рассмотрим функционал:

$$J(q)=\int_0^T \left[u(0,t;q)-f(t)\right]^2 dt \quad . \tag{24}$$

Минимизируем функционал (24) методом наискорейшего спуска. Пусть известно приближение $q^{(n)}(z)$, последующие приближения определим из:

$$q^{(n+1)}(z)=q^{(n)}(z)-\alpha_n \nabla J\left(q^{(n)}\right). \tag{25}$$

Здесь α_n – коэффициент спуска [3], $\nabla J\left(q^{(n)}\right)$ – градиент функционала.

Пусть коэффициенты уравнения (19) и функция $f(t)$ непрерывные функции, тогда градиент функционала (24) есть главная часть приращения функционала

$$\Delta J(q)=<\nabla J,\ \delta q>_{L_2}+o\left(\|\delta q\|^2_{L_2}\right)$$

и имеет вид:

$$\nabla J(q)=\int_0^T u(z,t)\psi(z,t)dt \quad , \tag{26}$$

где функция $\phi(z,t)$ - есть решение вспомогательной (сопряженной) задачи:

$$\psi_t=-\psi_{zz}+q(z)\psi, \quad (z,t)\in Q, \tag{27}$$

$$\psi(z,T)=0, \quad z\in(0,L), \tag{28}$$

$$\left[\psi_z-\frac{|\lambda|}{\sqrt{\mu\delta(+0)}}\psi\right]_{z=0}=-2\left[u(0,t;q)-f(t)\right], \quad t\in(0,T), \tag{29}$$

$$\psi(L,t)=0. \tag{30}$$

Для области, где происходят большие изменения (около источника) для детального расчета было принято решение использовать неравномерную схему и разделить область на 2 части [4]:

$$s(q)=\begin{cases} C*\frac{\varepsilon q}{p-q} & q<q_0 \\ \frac{1}{1-q_0}\left(L-C\varepsilon^{1-\beta}\right)(q-1)+L & q_0\le q\le 1 \end{cases} \qquad p=q_0(1+\varepsilon^{\beta})$$

Основная идея построения такой схемы вытекает из того, что отрезок линии [0, 1] разбивается на две секции [0, q0] и [q0, 1]: первый отвечает за участок, где происходят большие изменения, вторая секция схемы отвечает за разгрузку сети, и отображение на этом участке может быть построено, например, линейно. После склеивания этих двух секции мы получем неравномерную схему. Важно заметить, что при построении сетки на втором участке кроме линейной функции, теоретически можно построить сетку, склеенную

полиномом второй степени, третьей степени и так далее. Выбор степени полинома зависит от свойств задачи, для которой строится сетка. Отображение выглядит как на рисунке 1.

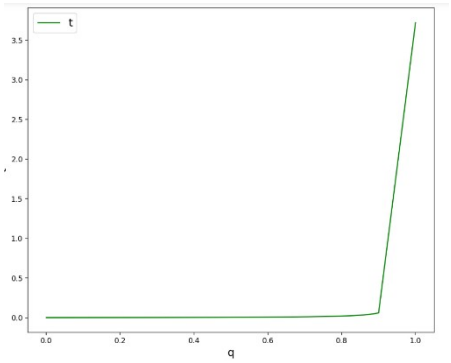


Рисунок 1. Сгущение временной области около источника

Используя вышеописанный алгоритм на уравнении пароболического типа, где источником можем предположить затухающее экспоненциальное функция и зная точное решение, получили следующие результаты (Рисунок 2):

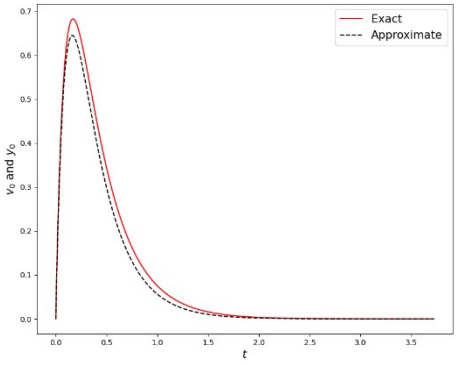


Рисунок 2. Сравнение точного и приближенного решения

3. Выводы

Рассматривая уравнение в воздухе, где проводимость равняется нулю и с помощью него мы определили краевое условие на границе и выписали аналитическое решение. Предполагая, что дополнительные информации как краевые условия мы посчитатли и подставили граничные условия на границе, и тем самым мы сэкономили область для проведения численных расчетов, а именно, для такой постановки задачи построили функционал невязки (оптимизационный метод), для которого построился сопряженная задача. В этой постановке сопряженную задачу рассматрели, чтобы она обладала свойством согласованности, была однородной и консервативной и коэффициенты в граничных условиях сдвинуты (27)-(30).

В дальнейшем это методика минимизации квадратических функционалов и вообще построение численных расчетов прямой и обратной задачи. Они необходимы для правильного построения и использования нейронной сети. Эксперименты были проведены совместно со специалистами Национального центра экспертизы дорожных активов РК.

Работа поддержана в рамках грантового финансирования МОН РК 2023-2025 по проекту AP 19680361.

Список литературы

1. Романов В.Г., Обратные задачи для уравнений математической физики. М.: Наука, 1984.
2. Романов В.Г., Кабанихин С.И. Обратные задачи геоэлектрики. М.: Наука, 1991.
3. Васильев Ф.П. Методы решения экстремальных задач: задачи минимизации в функциональных пространствах, регуляризация, аппроксимация. - М.: Наука, 1981 - 400 с.
4. Iskakov K.T., Kabanikhin S.I. The solution of one-dimensional inverse problem of geoelectrics by the method of conjugate gradients // Russian J.Theor.Appl.Mechanics. - 1992. - Vol. 2, №3. - P. 197-221.
5. Карчевский А.Л. Корректная схема действий при численном решении обратной задачи оптимизационным методом // Сибирские электронные математические известия. - 2008. - Т. 5, С. 609-619.
6. Rysbaiuly B., Akishev T.B. The calculation of the coefficient of heat capacity and heat transfer of multilayer ground by taking into account data from the Earth surface // Asian Journal of Natural & Applied Sciences. - 2012. - Vol. 1, №1. - P. 5-17.

Даулет Маратұлы Бешеев – магистр, докторант 2 курса
Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева;
010000, Казахстан, Астана; e-mail: d.besheyev@gmail.com

SENTIMENT ANALYSIS WITH NLP: CONCEPTS AND MATHEMATICAL FOUNDATIONS

Sotvoldiyeva Dildora[1], Karimov Sardor[1], Mamadaliyev Nurillo[1]
[1]*Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana, Uzbekistan*
E-mail. nurdilnurik@gmail.com

Annotation: *Sentiment analysis, a critical application of Natural Language Processing (NLP), focuses on determining the emotional tone expressed in text data. This article provides a comprehensive overview of sentiment analysis, highlighting essential NLP techniques such as tokenization, stop-word removal, and word embeddings. It also delves into the mathematical foundations that underpin sentiment analysis, including vector representation of words, TF-IDF, Naive Bayes classifiers, logistic regression, and support vector machines. Additionally, modern deep learning approaches like Recurrent Neural Networks (RNNs) and Transformers, including BERT, are explored for their ability to capture complex word dependencies. The article underscores the importance of these mathematical and computational models in transforming unstructured text into actionable sentiment insights, playing a significant role in fields like social media monitoring, customer feedback, and market research.*

Key words: *Sentiment Analysis, Natural Language Processing (NLP), Opinion Mining, Text Classification, Text Preprocessing, Tokenization, Stop Words, Lemmatization/Stemming, Bag of Words (BoW), TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency), Word Embeddings, Word2Vec,GloVe.*

Introduction to Sentiment Analysis

By allowing machines to comprehend, interpret, and produce human language, natural language processing, or NLP, is essential to closing the gap between computers and human language. NLP's significance can be summed up in a few main points: NLP improves the efficiency and intuitiveness of computer interactions. NLP is used by virtual assistants such as Google Assistant, Alexa, and Siri to comprehend spoken orders and react appropriately. This improves technology's usability and accessibility, particularly for those with disabilities. NLP makes it possible to automate processes that require a lot of text, like document summarization, question answering, and language translation. Chatbots in customer service, for instance, automate answers to frequently asked questions, decreasing the need for human participation and increasing service effectiveness.

NLP is frequently used in sentiment analysis, which aids companies in comprehending the thoughts and feelings of their customers through surveys, product reviews, and social media. Businesses may improve their products, adjust their tactics, and increase customer pleasure thanks to this understanding. By comprehending the context and intent underlying search queries, natural language processing (NLP) helps search engines like Google deliver more precise and pertinent search results. The ability of NLP-driven algorithms to differentiate between word meanings enhances the quality of information retrieval. NLP is essential to improving AI's comprehension and production of text that is similar to that of a human, opening the door to more complex uses including conversational AI systems, content production, and text generation (e.g., GPT models).

It advances AI's ability to simulate human speech. By examining customer preferences, browsing history, and previous transactions, natural language processing (NLP) aids in the provision of tailored recommendations in marketing and e-commerce. By providing items or information that are suited to each user's needs, this increases user satisfaction and engagement. The influence of NLP is extensive, affecting a wide range of sectors, including marketing, finance,

healthcare, and education. Technology's ability to comprehend and use human language will only increase as it develops.

An area of Natural Language Processing (NLP) that focuses on locating and obtaining subjective information from textual data is called sentiment analysis. It assists in identifying whether a text expresses a neutral, negative, or positive sentiment. Numerous applications, such as market research, customer feedback analysis, and social media monitoring, make extensive use of this technology.

Transforming unstructured text into structured data that captures the content's emotional tone is the aim of sentiment analysis. Businesses and researchers can use text to comprehend people's thoughts and feelings and use that information to create data-driven decisions.

NLP in Sentiment Analysis

NLP techniques are essential for breaking down the complexity of human language and making it understandable for computers. Sentiment analysis uses several key NLP methods, including:

Tokenization: Splitting text into individual words or phrases (tokens) that can be analyzed.

Stop-word Removal: Eliminating common words (like "the", and "is") that don't carry significant meaning.

Stemming and Lemmatization: Reducing words to their root form to standardize text (e.g., "running" becomes "run").

Part-of-Speech Tagging (POS): Identifying the grammatical components of each word to provide context for sentiment (e.g., "good" as an adjective indicates a positive sentiment).

Word Embeddings: Mapping words into numerical vectors that capture semantic meaning. Techniques like Word2Vec, GloVe, and BERT are commonly used.

Sentiment Lexicons: Predefined lists of words categorized by sentiment (positive, negative, or neutral) that help in the analysis.

Mathematical Foundations of Sentiment Analysis

At the core of sentiment analysis are several mathematical and statistical concepts that enable machine learning algorithms to process and classify text data.

Vector Representation of Words. Converting words into numerical representation is the first mathematical idea. Word embeddings, which are vectorized representations of words in a continuous space, are used to do this. In a multidimensional space, for instance, words with similar meanings have vectors near to one another.

Formally, a word embedding can be represented as a vector

$$\mathbf{w} \in \mathbb{R}^d \quad (1)$$

where *d* is the dimensionality of the vector space, and the position of each word is determined by its semantic meaning. Techniques like Word2Vec and GloVe create these embeddings by optimizing for contexts where words appear.

Naive Bayes Classifier. The Naive Bayes classifier is a simple but effective probabilistic model often used in sentiment analysis. Based on Bayes' Theorem, it assumes that the presence (or absence) of each feature (e.g., a word in a sentence) contributes independently to the probability of a certain class (positive, negative, or neutral sentiment).

Mathematically, the classifier is based on:

$$P(c|x) = \frac{P(x|c)P(c)}{P(x)} \quad (2)$$

-P(c|x) is the probability of class c (e.g., positive) given features x (e.g., the words in a sentence),

-P(x|c) is the likelihood of observing the features x given the class c,

-P(c) is the prior probability of class c,

-P(x) is the overall probability of observing the features x.

Logistic Regression. Logistic regression is another common algorithm used in sentiment analysis. It models the probability that a given input belongs to a particular sentiment class. The output is a probability value between 0 and 1, indicating whether a text expresses a positive or negative sentiment.

The logistic regression model uses the sigmoid function:

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (3)$$

where z is a linear combination of the input features. The goal is to find the weights that best classify the text as belonging to a certain sentiment class by minimizing the cost function.

Deep Learning in Sentiment Analysis. Modern sentiment analysis often leverages deep learning models, particularly Recurrent Neural Networks (RNNs) and Transformers like BERT. These models are capable of understanding context, word dependencies, and long-range relationships in text data.

RNNs process sequences of words in order, making them suitable for understanding the flow of sentiment.

Transformers like BERT use self-attention mechanisms to capture dependencies between all words in a sentence, enabling a more sophisticated understanding of sentiment. These models rely on backpropagation and optimization algorithms like gradient descent to adjust the weights based on the error between predicted and actual sentiment.

Conclusion

Sentiment analysis using NLP classifies the emotional tone of the text by fusing sophisticated mathematical models with language methodologies. This technology, which includes everything from simple lexicons to intricate deep-learning models, is essential for deriving insights into human emotions from data. As the discipline develops, the mathematical underpinnings of

sentiment analysis systems—such as probability theory, vector spaces, and optimization techniques—continue to change.

REFERENCES

1. Carter, E. (2023). DesignedUp: A designer's guide on how to lead inside the tech industry. Auerbach Publications.
2. Kim, D. K. D., & Kim, S. (2022). What if you have a humanoid AI robot doctor?: An investigation of public trust in South Korea. Journal of Communication in Healthcare, 15(4), 276-285.
3. Sambasivam, S., Ladwig, C., Webber, T., & Schwieger, D. (2023). INFORMATION SYSTEMS EDUCATION JOURNAL. EDUCATION JOURNAL, 21(3).
4. Thompson, T. (2020). Creator God, Humans, and Artificial Intelligence: Framework to Address Theological and Relational Issues.
5. Johnson, S. J. (2015). The social and cognitive worlds of young children reading together. University of California, Los Angeles.
6. Rodriguez-Santiago, A. J. (2018). Synthesis and Characterization of Fe8-based Materials as Electron Acceptors for Solar Energy Applications.
7. Porubay O. et al. Optimization of operation modes of renewable energy facilities to provide energy for agriculture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 01028.
8. Paar C. Applied cryptography and data security //Lecture Notes), Ruhr-Universität Bochum (http://www. crypto. ruhr-uni-bochum. de). – 2000.
9. Ergashev O. et al. Programming and processing of big data using python language in medicine //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 02027.
10. https://www.helpscout.com/75-customer-service-facts-quotes-statistics/

Сотволдиева Дилдора Ботировна – старший преподаватель Ферганского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми;
E-mail. nurdilnurik@gmail.com

ОБЗОР СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К.М. Баймиров[1], Е.Қ. Мергенғали[2], М.А. Ахметжанов[1]
[1]Институт информационных и вычислительных технологий, КН МНВО РК, Казахстан
[2]Международный университет информационных технологий
e-mail: kuanysh23@gmail.com

Аннотация. *Эффективное управление электроэнергетическими системами требует применения современных технологий для мониторинга и прогнозирования нагрузки. Традиционные методы управления уступают место интеллектуальным системам, которые используют методы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) для более точного и оперативного анализа данных. Настоящая статья рассматривает современные подходы к мониторингу и прогнозированию нагрузки, их значение для обеспечения устойчивости энергосистем, а также вызовы, связанные с их применением.*

Введение. Современные электроэнергетические системы становятся все более сложными из-за увеличения спроса на электричество, роста распределенной генерации и интеграции возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В этих условиях адекватное управление нагрузкой играет ключевую роль в обеспечении стабильной работы энергосистем, снижении потерь и минимизации рисков аварий. Основным инструментом для решения этих задач становятся системы мониторинга и прогнозирования нагрузки, основанные на ИИ и МО.

Методы мониторинга электроэнергетических систем

Мониторинг электроэнергетических систем включает в себя сбор и анализ данных в реальном времени для оценки состояния энергосистемы, выявления возможных сбоев и оптимизации работы сетей. Традиционные методы мониторинга основываются на SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системах, которые собирают данные о состоянии оборудования и потоках электроэнергии. Однако, современные вызовы требуют более глубокого анализа больших объемов данных.

SCADA-системы

SCADA-системы остаются основой мониторинга энергосистем, обеспечивая связь с различными компонентами энергосистемы, такими как подстанции, генераторы, линии электропередач и потребители. Эти системы позволяют операторам собирать данные в реальном времени, управлять оборудованием и реагировать на аварийные ситуации. Тем не менее, SCADA-системы часто не способны справляться с потоками данных высокой частоты, необходимыми для детального анализа состояния сети. Например, в [1]
обсуждается распределение электроэнергии и архитектура системы SCADA, предлагаемая схема управления и мониторинга, развернутая в сети реального времени, которая гарантирует, что в любой момент времени электроснабжение доступно через надлежащие блокировки выключателей на каждом уровне распределительных щитов в соответствующей подстанции.

Усовершенствованные системы мониторинга

Системы мониторинга, основанные на ИИ и больших данных, предлагают более точные и адаптивные решения. Такие системы могут обрабатывать огромные объемы данных из множества источников, включая интеллектуальные счетчики, датчики

напряжения и тока, данные метеорологических станций и другие источники. Благодаря этому обеспечивается не только оперативный контроль, но и возможность предсказания аномальных событий. Например, авторы [2] для помощи операторам в принятии решений предлагают новые функции на основе машинного обучения, направленные на: (a) классификацию сложности возникновения неисправности (классификатор событий) и ее причины (классификатор причин неисправностей) на основе событий тревоги; (b) предоставление оператору быстрых сведений о том, как решить. Классификатор событий берет информацию о тревоге события и классифицирует ее как «простое» или «сложное» событие, в то время как классификатор причин неисправностей предсказывает класс причин неисправностей линий среднего напряжения. Система, предложенная авторами, берет последовательность информации о тревоге из события и предлагает более адекватную последовательность действий переключения для изоляции участка неисправности.

Прогнозирование нагрузки электроэнергетических систем

Прогнозирование нагрузки — это ключевой элемент для эффективного управления энергосистемой, который позволяет операторам планировать производство и распределение электроэнергии, а также минимизировать расходы. Точность прогнозирования особенно важна для интеграции возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая энергия, которые обладают высокой переменчивостью. Например, авторами [3] представлена гибридная модель, использующая одномерные временные ряды и методы глубокого обучения. Модель объединяет структуру кодера-декодера на основе двунаправленных рекуррентных блоков (Bi-GRU) с архитектурой сверточной нейронной сети с долговременной краткосрочной памятью (CNN-LSTM) для улучшения одношагового краткосрочного прогнозирования спроса на электроэнергию. Интеграция Bi-GRU обеспечивает искусный захват временных зависимостей, в то время как CNN тщательно извлекают пространственные особенности. Одновременно LSTM обеспечивают надежный механизм запоминания долгосрочных зависимостей. Компетентность модели была строго оценена с помощью оценок с использованием общедоступного набора данных American Electric Power (AEP), который представляет реальные модели электрической нагрузки. Результаты подчеркивают, что предлагаемая модель превосходит конкурирующие модели по алгоритмической стабильности и точности прогнозирования.

Классические методы прогнозирования

Ранние подходы к прогнозированию нагрузки базировались на методах статистического анализа, таких как регрессионные модели, временные ряды и средние скользящие. Эти методы хорошо справлялись с задачами прогнозирования в условиях стабильного спроса, однако их эффективность снижается при изменении структуры потребления и появлении новых участников на рынке (например, электромобилей или систем хранения энергии).

Современные методы прогнозирования на основе ИИ

ИИ и МО открыли новые возможности для повышения точности прогнозов. Нейронные сети, решающие деревья, машины опорных векторов и глубокое обучение позволяют учитывать нелинейные зависимости между множеством факторов, влияющих на нагрузку, включая погодные условия, социально-экономические факторы и события. Эти алгоритмы могут адаптироваться к изменениям в данных, что делает их более устойчивыми к непредсказуемым факторам. Например, авторы [4] использовали четыре метода на основе машинного обучения для прогнозирования краткосрочной и долгосрочной нагрузки на электроэнергию: длительную краткосрочную память (LSTM), комбинацию LSTM и дискретного вейвлет-преобразования (DWT-LSTM), нелинейную авторегрессию с

экзогенными входами (NARX) и регрессор опорных векторов (SVM). Сравнительный анализ реализованных методов подтверждает превосходящую точность DWT-LSTM, за которым следуют методы LSTM, NARX и SVM соответственно. Предлагаемый подход к прогнозированию демонстрирует высокую эффективность в прогнозировании электрической нагрузки как в стандартных условиях, так и во время значимых общественных событий в различных географических контекстах.

Применение гибридных моделей

Одним из современных подходов является использование гибридных моделей, которые объединяют несколько методов прогнозирования для достижения более высокой точности. Например, можно объединять классические статистические методы с МО или ИИ для более точного краткосрочного и долгосрочного прогнозирования.

Влияние возобновляемых источников энергии на прогнозирование

Интеграция ВИЭ существенно усложняет задачи прогнозирования нагрузки из-за их переменчивости и неопределенности. Эффективные системы мониторинга и прогнозирования должны учитывать погодные условия, которые напрямую влияют на выработку энергии солнечными и ветровыми установками. Для этого используются как методы краткосрочного прогнозирования (для корректировки в течение дня), так и долгосрочные модели.

Проблемы и вызовы

Несмотря на значительные успехи, системы мониторинга и прогнозирования сталкиваются с рядом вызовов:

- Достоверность данных: Недостаток качественных и полноценных данных может негативно сказаться на точности прогнозов.
- Кибербезопасность: С увеличением использования цифровых технологий растет угроза кибератак на энергосистемы.
- Интеграция с существующими системами: Внедрение ИИ-технологий в уже работающие энергосистемы может потребовать значительных затрат на обновление инфраструктуры.

Заключение. Системы для мониторинга и прогнозирования нагрузки электроэнергетических систем играют ключевую роль в обеспечении стабильности, надежности и эффективности работы энергосистем. Использование методов ИИ и МО позволяет значительно повысить точность прогнозов и улучшить управление ресурсами. Однако для успешного внедрения таких технологий необходимо решить вопросы, связанные с данными, кибербезопасностью и интеграцией с существующими системами.

Литература

1. O.V. G.S., Karthikeyan A., Karthikeyan K., Sanjeevikumar P., Karapparambil Thomas S., Babu A. (2024). Critical review of SCADA and PLC in smart buildings and energy sector Energy Reports, 12, pp. 1518 - 1530.
DOI: 10.1016/j.egyr.2024.07.041
2. Campos V., Klyagina O., Andrade J.R., Bessa R.J., Gouveia C. ML-assistant for human operators using alarm data to solve and classify faults in electrical grids
(2024) Electric Power Systems Research, 236, art. no. 110886 DOI: 10.1016/j.epsr.2024.110886
3. Gaber A., Aly H.H., Ghatwary N., Abdelsalam A.K. Electrical Load Forecasting using a Novel BI-GRU Encoder Decoder Model (2025) Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 51 (1), pp. 1 - 14 DOI: 10.37934/araset.51.1.114
4. Nabavi S.A., Mohammadi S., Motlagh N.H., Tarkoma S., Geyer P. Deep learning modeling in electricity load forecasting: Improved accuracy by combining DWT and LSTM (2024) Energy Reports, 12, pp. 2873 - 2900 DOI: 10.1016/j.egyr.2024.08.070

ЭКОНОМИКА САЛАЛАРЫНЫҢ АРАСЫНДА ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЕҢБЕК РЕСУРТАРЫН ТИІМДІ ҮЛЕСТІРУДІ ЖОСПАРЛАУДЫҢ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІ

Тусупова К.Б., Мирзахмедова Г.А.
e-mail: kamshat-0707@mail.ru, gulbanu.myrzahmedova@mail.ru
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Қазақстан

Аңдатпа. *Ақпараттық жүйенің қазіргі уақыттағы жетістіктеріне қарамастын экономика салаларын басқарудың ақпараттық жүйесін құруда айтарлықтай мәселелер туындап жатады. Экономиканың нақты секторын нығайту қоғамдық өмірдің басқа да салаларына оң әсер береді, нәтижесінде бұл жаңа жұмыс орындарының ашылуына және азаматтардың әл-ауқатының артуына алып келеді. Экономика салаларын тиімді басқарудың ақпараттық жүйесін құру немесе оның функцияларын жүзеге асыратын модульдерін құру және өңдеу көптеген жаңа мәселелелерді тудырады. Бұл мәселелерді шешімін анықтау үшін, экономикадағы басқару есептерінің шешімін анықтау алгоритмдерін құру, олардың программалық жабдықтаммаларын тұрғызу қажет. Осы мәселелерді ескере отырып зерттеу жұмысында экономика саларын басқарудың ақпараттық жүйесі үшін тиімді басқару есебі қарастырылады.*

ҚР президенті Қ.Ж. Тоқаевтың 2023 жылғы халқымызға жолдауында [1] экономикалық жүйелерді басқаруға қатысты бірнеше бағдарға тоқталып өтті, соның ішінде: «Бірінші бағдар. Жаңа экономикалық саясат. Біз экономикамызда қордаланған мәселелерді жақсы білеміз. Мысалы, шикізатқа әлі де тәуелдіміз. Ұлттық табыстың игілігін жұрттың бәрі бірдей көріп отырған жоқ. Макроэкономикалық тұрақтылықты қамтамасыз ету қажет. Екінші бағдар. Нақты секторларды дамыту**.** Ең алдымен, жер қойнауын игеру ісіне инвестиция тарту үшін заңнаманы және рәсімдерді барынша жеңілдету керек. Үкіметке индустрия және жер қойнауын игеру салаларының инвестициялық тартымдылығын арттыруды тапсырамын.Арнайы экономикалық аймақтарға инвестициялық жеңілдіктерді саралап беру керек. Жалпы, инвестиция тарту жұмысын жүйелі жүргізу керек. Бұл – Үкіметтің алдында тұрған басты міндеттің бірі» [1]. ҚР президетінің халыққа жолдауын ескере келе, инвестициялық және еңбек ресурстаны тиімді үлстірудің баланстық қатынастарын анықтау алгоритмін құру мәселесі қарастырылады.

Экономика саласында өнеркәсіп өндірісіне инвестициялық, еңбекке жарамды халықтың секторлар бойынша үлестірім коэффициенттерін анықтау үшін еліміздің ашық деректер көзінен 2010 жылдан бастап өнеркәсіп өндірісіндегі шығарылған өнім көлемінің құны [1], секторлар бойынша негізгі капиталға бөлінген инвестиция [2] мәндері, жұмыспен қамтылғандар [3] саны алынды.

Секторлар арасындағы инвестициялық және еңбек ресуртарын тиімді үлестіру алгоритмі келесі қадамдар бойынша жүзеге асырылады:

- Секторлар арасында еңбек және инвестициялық ресуртарды тиімді үлестіру үшін ашық деректер көзінен ақпараттар жинақтау, сақтау;
- Алынған мәліметтер бойынша негізгі қордың икемділік коэффиицентін, ғылыми техникалық прогрессті анықтау;
- Ашық деректер көзінен алынған жұмыспен қамтылған халық саны мен негізі капиталға бөлінген инвестициялардың орташа мәнін тауып, әр сала бойынша бастапқы орташа үлестірім мәнін табамыз.

Салыстырмалы айнымалылармен берілген үш сектордан экономикалық жүйенің динамикалық даму теңдеуін қарастарайық, мұндағы $i=0$ (материалды сектор), $i=1$ (қормен

жабдықтаушы сектор), $i=2$ (қолданушы сектор). Қарастырылып отырған экономикалық жүйенің математикалық моделі [5]:

а) Қормен жабдықтандыру динамикасын сипаттайтын үш дифференциалды теңдеуден:

$$\dot{k}_i=-\lambda_i k_i+(s_i/\theta_i)x_1,\ \ k_i(0)=k_i^0,\ \ \lambda_i>0,\ \ (i=0,\ 1,\ 2),\tag{1}$$

б) Кобба - Дуглас типіндегі салыстырмалы өнім функциясынан:

$$x_i=\theta_i A_i k_i^{\alpha_i},\ \ A_i¿0,\ \ 0<\alpha_i¿1,\ \ (i=0,\ 1,\ 2),\tag{2}$$

в) Үш баланстық қатынастан тұрады:

инвестициялық баланс: $s_0+s_1+s_2=1,\ \ s_0\geq 0,\ \ s_1\geq 0,\ \ s_2\geq 0,$ (3)

еңбек балансы: $\theta_0+\theta_1+\theta_2=1,\ \ \theta_0\geq 0,\ \ \theta_1\geq 0,\ \ \theta_2\geq 0,$ (4)

материалдық баланс: $(1-\beta_0)x_0=\beta_1 x_1+\beta_2 x_2,\ \ 0<\beta_i<0,\ i=0,\ 1,\ 2$ (5)

Мұндағы экономикалық жүйенің күйі (қормен жабдықтандыру динамикасы) $(k_0,\ k_1,\ k_2)$ векторымен, ал басқару векторлары $(s_0,\ s_1,\ s_2,\ \theta_1,\ \theta_1,\ \theta_2)$ арқылы сипатталған ($(s_0,\ s_1,\ s_2)$ - инвестициялық ресурстарды үлестірудегі секторлардың үлесі, $\theta_1,\ \theta_1,\ \theta_2)$ - еңбек ресурстарын үлестірудегі секторлырдың үлесі); x_i – өнімнің салыстырмалы (бір жұмысшыға есепттегендегі i -ші сектордағы шығарылатын өнімнің саны) шығарылымы; $\beta_i,\ i=0,\ 1,\ 2$ – i -ші сектордағы өнімді шығару барысындағы тікелей материалды шығындар; экономикалық жүйенің бастапқы күйі $(k_0^0,\ k_1^0,\ k_2^0)$ тең, мұндағы $t=0$ үшін $k_i^0=k_i(0)$ болғандағы i -ші сектордың қормен жабдықталуы $(i=0,\ 1,\ 2)$.

Сызықты емес жүйені бастапқы берілген күйден $[0,\ T]$ уақыт кесіндісінде қалауымыздағы күйге айналдыру есебі қарастырылады. Қалауымыздағы күй ретінде $(k_0^s,\ k_1^s,\ k_2^s)$ жұмысында [5] анықталған жүйенің тепе - теңдік күйі теңдеуі қолданылады

$$k_1^s=\left(\frac{s_1 A_1}{\lambda_1}\right)^{\frac{1}{1-\alpha_1}},\ \ k_0^s=\frac{s_0\theta_1 A_1(k_1^s)^{\alpha_1}}{\lambda_0\theta_0},\ \ k_2^s=\frac{s_2\theta_1 A_1(k_1^s)^{\alpha_1}}{\lambda_2\theta_2}.\tag{6}$$

Тепе-теңдік күйіндегі (6) қормен жабдықтандыру $k_i^{¿}(i=0,\ 1,\ 2)$ мәні еңбек және инвестициялық ресурстардың үлестірім коэффициентінің міндері арқылы анықталады. Ал еңбек және инвестициялық ресурстарының $(s_0^s, s_1^s, s_2^s, \theta_0^s, \theta_1^s, \theta_2^s)$ мәндері ҚР статистика агентінің [3, 4] ашық дереккөзінен алынды.

Ұлттық статистика бюросы, ҚР стратегиялық жоспарлау және реформалар агентігінің ашық деректер көзінен алынған статистикалық мәліметтер қорын пайдала отырып (1) қор

динамикасының өзгеріс теңдеуін сандық түрде жазу үшін экзогендік және бастапқы эндогендік параметрлерін анықтаймыз. Бұл параметрлерге

- Кобба – Дуглас функциясын икемділк коэффициенттерін;
- Тікелей материалдық шығын коэффициентін;
- Инвестиция мен еңбек ресурстарының бастапқы үлесі инвестициялық ресурстардағы салалық құрылымның параметрлері және еңбек ұсынысы туралы деректер ретінде айқындалады;
- Қормен жабдықтандырудың стационарлы коэффициентін

жатқызамыз.

Экономикалық өсімнің оңтайландыру моделі негізінде дәрежелік өндірістік функцияны қарастырамыз

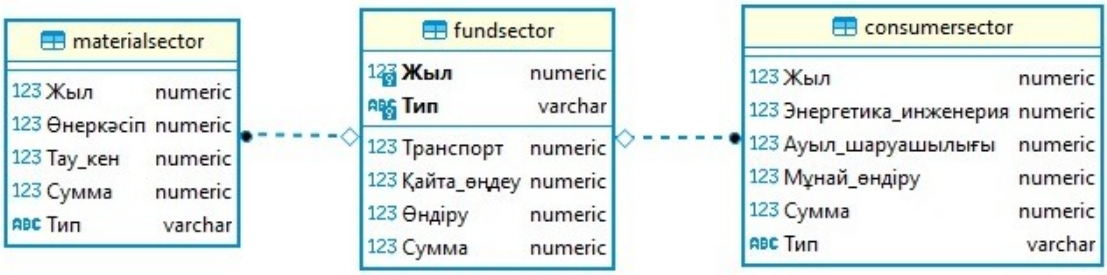
$$x(k,l)=Ak^{\alpha}l^{\beta} \qquad (7)$$

Мұндағы A – ҒТП коэффициенті, α, β – сәкесінше капитал және еңбек бойынша икемділік коэффициенті. Жүргізілген статистикалық талдау нәтижесінде өндірістік функцияның коэффициенттердің мәні алынды. Зерттеу пәні ретінде қарастырылып отырған үш саладан тұратын өндірістік өнеркәсіп экономикасының есебінде (3.3) формуладан бұл функциялар келесідей мәндерге ие болады:

1. $x_0(k,l)=2,62k^{0.36}l^{0.64}$ – тау кен және өнеркәсіп шикізатын өңдеумен айналысатын салалар өндірісінің көлемін көрсететін функция;
2. $x_1(k,l)=1,3k^{0,51}l^{0,49}$ – машинақұрылысы құралдарымен және материалдық ресурстармен қамтамасыз ететін салалар мен қызметтер өндірісінің көлемін көрсететін функция;
3. $x_2(k,l)=0,79k^{0,39}l^{0,61}$ – тау кен және өнеркәсіп өндірісінде өндірілетін өнімнің көлемін анықтайтын функция .

Үш секторлы экономикалық моделдің көмегімен экономикалық секторлардың негізгі өндірістік қорларының динамикасын басқару есебін шешу көзделеді. Зерттеу саласы ретінде ҚР макроэкономикалық моделі қарастырылады. 1 – суретте үш секторды экономикалық модельдің бейнесі көрсетілгендей:

1. Материалды секторда шикізат өнімдері өндіріледі. Бұл секторға ҚР өнеркәсіп өндірісі, тау-кен өнеркәсібі бойынша өндірілген өнім көлемі, осы өнімдерді өндіруге бөлінетін инвестиция қоры және осы салады жұмыс жасайтын қызметкерлер саны алынды.
2. Қормен жабдықтандырушы секторда ҚР өнеркәсібіне қажетті негізгі құралдар өндіріледі. Бұл секторға материалды сектордағы өнімдерді өндіруге қажетті транспорттық құралдар, қайта өңдеу құралдары, өндіріс құралдарының өндірілетін өнім көлемі, осы құралдарды өндіруге бөлінетін инвестиция құны, және жұмысшылар саны қарастырылады.
3. Қолданушы секторда тұрмыстық қолдану заттары өндіріледі. Бұл секторда дайын өнімді өндіру көлемі, дайын өнімдерді өндіруге бөлінген инвестиция құны, және жұмысшылар саны қарастрылады.



1 – сурет. Үш секторлы экономикалық модель

Сонымен қатар, баланстық шектеулер жүйесінің орындалуын және модельдің шарттарын ескере отырып, өндірістік функциялардың нақты түрін анықтай отырып, еңбек ресуртарының , инвестициялық ресуртарды секторлар бойынша нақты бөлудің алынған мәндерін, сондай-ақ қормен жабдықтандыру секторының динамикалық өзгеріс мәндері алынады. Қормен жабдықтандыру динамикасынығ бастапқы мәні ретінде статистикалық мәліметтердің алғашқы жылдың сандық көрсеткіші алынды. 1–кестеде статистикалық мәліметтер қорынан алынған үш секторлы экономикалық моделі үшін стационарлы параметрлерінің мәндерін есептеу нәтижесі көрсетілген. 2–суретте қормен жабдықтандыру динамикасының өзгеріс графигі келтірілген.

1-кесте. Үш секторлы экономикалық моделі үшін стационарлы параметрлер

I	α_i	β_i	λ_i	A_i	s_i^{*}	θ_i^{*}	k_i^{*}	x_i^{*}
0	0,55	0,4	0,07	1.92	0,4393	0,3072	27,7635	3,6697
1	0,7	0,11	0,08	1.3	0,1458	0,1397	17,7298	1,3590
2	0,68	0,22	0,05	2.17	0,4149	0,5531	20,3893	9,3252

Кестеде келтірілген мәліметер бойынша инвестициялық ресуртардың үлестірім шартын

$$s_0+s_1+s_2=1$$

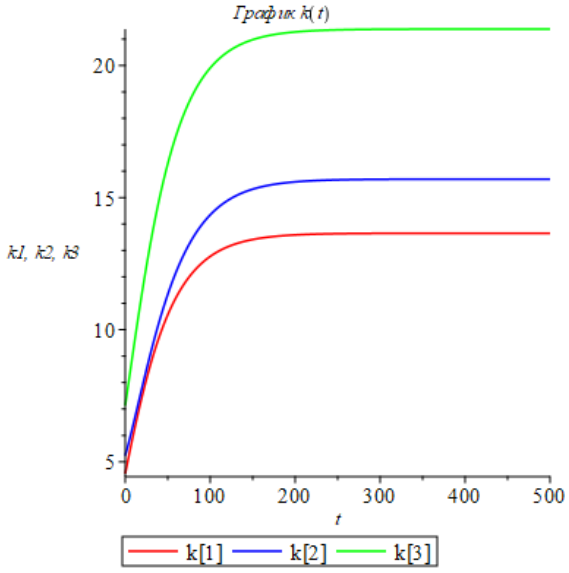
Еңбек ресуртардың үлестірім шартын

$$\theta_0+\theta_1+\theta_2=1$$

Материалдық баланс шартын

$$(1-\beta_0)x_0=\beta_1x_1+\beta_2x_2,\quad \beta_0\geq 0,\quad \beta_1\geq 0,\quad \beta_2\geq 0$$

қанағаттандырып тұрғанына көз жеткізуге болады. Тексеру нәтижелерінен көріп тұрғанымыздай алынған сандық мәліметтер үш секторлы экономикалық модельдің баланстық үлестірім шарттарын қанағаттандырады.



3.4-сурет. Қор динамикасының өзгеріс динамикасы

Экономика салаларын басқарудың ақпараттық жүйесі үшін секторлар арасында инвестициялық және еңбек ресурстарын үлестіру коэффициентерін анықтау құралдарын программалау ортасы ретінде Maple визуалдану және модельдеу ортасы таңдалды. Себебі бұл жүйеде есептердің үйреншікті аналитикалық жолын тезірек, аз уақыттың ішінде жеткілікті дәлдікпен шешімдер алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар мәліметтер қорын басқару жүйесі ретінде PostgreSQL қолданылды.

Зерттеу жұмысын Қазақстан Республикасының ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант № AP22684879).

Қолданылған әдебиеттер

1. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» атты Қазақстан халқына Жолдауы. - https://www.akorda.kz/kz/memleket-basshysy-kasym-zhomart-tokaevtyn-adiletti-kazakstannyn-ekonomikalyk-bagdary-atty-kazakstan-halkyna-zholdauy-18333
2. Ұлттық статистика бюросы. Өнеркәсіп өндірісінің статистикасы. - https://stat.gov.kz/industries/business-statistics/stat-industrial-production/
3. Ұлттық статистика бюросы. Инвестициялар статистикасы. - https://stat.gov.kz/industries/business-statistics/stat-invest/
4. Ұлттық статистика бюросы. Еңбек және табыс. Жұмыспен қамту және жұмыссыздық. - https://stat.gov.kz/industries/labor-and-income/stat-empt-unempl/
5. Колемаев В.А. Экономико-математическое моделирование. Моделирование макроэкономических процессов и систем // М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2005. - 295 с.

СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНО-КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ

Кутунаев Ж.Н., Кадыркулова Н.К.
Ошский технологический университет им.М.М. Адышева, Кыргызстан
e-mail: zh.kutunaev@mail.ru

Аннотация

Многие задачи математической физики приводят к дифференциальным уравнениям с частными производными. В настоящей статье рассмотрено одно из основных уравнений гиперболического типа, наиболее часто встречающегося 2-го порядка.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу о распространении волн на полу ограниченной прямой $x \geq 0$. Как известно, процесс колебаний полуограниченной прямой зависит от граничного условия, от ее начальной формы $u(x,0)$ и распределения скорости $u_t(x,0)$ в начальный момент времени.

Если граничный режим действует достаточно долго, то благодаря трению, присущему всякой реальной физической системе, влияние начальных данных $u(x,0)$ и $u_t(x,0)$ с течением времени ослабевает, т.е. на практике, в некоторых случаях, заботиться о соблюдении начальных данных нет необходимости. В результате возникают важные классы задач о распространении граничного режима, которые называются задачами без начальных условий.

В настоящей работе рассмотрим задачу о распространении граничного режима без учета начального условия $u(x,0)$. Если в начальный момент времени полуограниченная прямая занимает произвольное положение, а начальный импульс равен нулю, то ясно, что колебание осуществляется только за счет граничного режима.

Рассмотрим следующую задачу: решить модельную задачу

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{1}{(\square'(x))^2} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \left[\frac{2}{\square'(x)} \left(\beta_1 - \frac{\psi'(x)}{\psi(x)\square'(x)} \right) - \frac{\square''(x)}{(\square'(x))^3} \right] \frac{\partial u}{\partial x} + ¿$$

$$+ \left[\left(\beta_2 - \frac{\psi'(x)}{\psi(x)\square'(x)} \right)^2 - \frac{1}{\square'(x)} \cdot \frac{d}{dx} \left(\frac{\psi'(x)}{\psi(x)\square'(x)} \right) \right] u, 0 < x < \infty, t > 0, (1)$$

удовлетворяющее граничному условию

$$a_1 u_{tt}(0,t) + a_2 u_t(0,t) + a_3 u_x(0,t) + a_4 u(0,t) + \int_0^t e^{\alpha(t-s)} u(0,s)\,ds = \mu(t), t > 0 (2)$$

и начальному условию

$$u_t(x,0) = 0, 0 < x < \infty, (3)$$

где $a_i = (i = \overline{1,4}), \alpha, , \beta_1, \beta_2, \beta_1 \neq \beta_2 - ¿$ постоянные числа, $, \psi - ¿$произвольные, дважды непрерывно дифференцируемые функции, $\varphi'(x) \neq 0, \psi'(x) \neq 0, (t) - ¿$заданная непрерывная функция при $t > 0$.

Решение задачи: В данной работе общее уравнение (1) предлагается искать в виде [2]:

$$u(x,t)=\psi(x)\left[e^{\beta t}f((x)+t)+e^{-\beta t}f(g(x)-t)\right],$$

где $f,g-$¿произвольные, дважды непрерывно дифференцируемые функции. Это функция удовлетворяет начальному условию (3), если ее выберем в виде

$$u(x,t)=\psi(x)\left[e^{\beta t}f((x)+t)+e^{-\beta t}f(\varphi(x)-t)\right].$$

Дифференцируя функцию $u(x,t)$ в последнем выражении, получим

$$\frac{\partial u}{\partial x}=e^{\beta t}\left(\psi'(x)f((x)+t)+\psi(x)\square'(x)f'((x)+t)\right)+¿$$

$$+e^{-\beta t}\left(\psi'(x)g((x)-t)+\psi(x)\square'(x)f'((x)-t)\right),$$

$$\frac{\partial u}{\partial t}=\psi(x)\left[e^{\beta t}\left(\beta f((x)+t)+f'((x)+t)\right)-e^{-\beta t}\left(\beta f((x)-t)+f'((x)-t)\right)\right],$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}=\psi(x)\left[e^{\beta t}\left(\beta^2 f((x)+t)+2\beta f'((x)+t)+f''((x)+t)\right)+¿\right.$$

$$\left.+e^{-\beta t}\left(\beta^2 f((x)-t)+2\beta f'((x)-t)+f''((x)-t)\right)\right].$$

Поставляя значения $u(x,t),\frac{\partial u(x,t)}{\partial x},\frac{\partial u(x,t)}{\partial t},\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2}$ в граничное условие (2), получим неоднородное функционально-дифференциальное уравнение 2-го порядка с интегральным членом относительно функции f:

$$e^{\beta t}\left[a_1\psi(0)f''((0)+t)+p_1\psi(0)f'((0)+t)+p_2\psi(0)f((0)+t)\right]+¿$$

$$+e^{-\beta t}\left[a_1\psi(0)f''((0)-t)+q_1\psi(0)f'((0)-t)+q_2\psi(0)f((0)-t)\right]+¿$$

$$+(0)\int_0^t e^{\alpha(t-s)}\left[e^{\beta t}f(\varphi(0)+s)+e^{-\beta t}f(\varphi(0)-s)\right]ds=\mu(t)\quad(4)$$

где p_1,p_2,q_1,q_2 определены согласно равенству

$$\left.\begin{array}{l}p_1=\psi(0)\left(2a_1\beta+a_2+a_3\varphi'(0)\right),\ p_2=\psi(0)\left(a_1\beta^2+a_2\beta+a_4\right)+a_3\varphi'(0),\\ q_1=\psi(0)\left(2a_1\beta-a_2+a_3\varphi'(0)\right),\ q_2=\psi(0)\left(a_1\beta^2-a_2\beta+a_4\right)+a_3\varphi'(0)\end{array}\right|.$$

Сначала решим однородное уравнение

$$e^{\beta t}\left[a_1\psi(0)f''((0)+t)+p_1\psi(0)f'((0)+t)+p_2\psi(0)f((0)+t)\right]+¿$$

$$+e^{-\beta t}\left[a_1\psi(0)f''((0)-t)+q_1\psi(0)f'((0)-t)+q_2\psi(0)f((0)-t)\right]+¿$$

$$+(0)\int_0^1 e^{\alpha(t-s)}\left[e^{\beta t}f(\varphi(0)+s)+e^{-\beta t}f(\varphi(0)-s)\right]ds=0\quad(5)$$

Решение уравнения (5) будем искать в виде [7]:

$$f(t)=e^{mt}+k\,e^{nt},(6)$$

где $m,n,k-¿$ постоянные числа, подлежащие определению. Поставляя функцию (6) и ее соответствующие производные в (5), будем иметь

$$e^{\beta t}¿$$

$$+p_1\left(m\,e^{m\varphi(0)}e^{mt}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{nt}\right)+p_2\left(m\,e^{m\varphi(0)}e^{mt}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{nt}\right)\Big]+¿$$

$$+e^{-\beta t}¿$$

$$+q_1\left(m\,e^{m\varphi(0)}e^{-mt}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{-nt}\right)+q_2\left(m\,e^{m\varphi(0)}e^{-mt}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{-nt}\right)\Big]+\psi(0)\times$$

$$\times\int_0^1 e^{\alpha(t-s)}\Big[e^{\beta s}\left(e^{m\varphi(0)}e^{-ms}+kn\,e^{n\varphi(0)}e^{-ns}\right)+e^{-\beta s}\left(e^{m\varphi(0)}e^{-ms}+kn\,e^{n\varphi(0)}e^{-ns}\right)\Big]ds=0(7)$$

Вычисляя интеграл, окончательно получим

$$\psi(0)\int_0^t e^{\alpha(t-s)}\Big[e^{\beta s}\left(e^{m\varphi(0)}e^{-ms}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{-ns}\right)+e^{-\beta s}\left(e^{m\varphi(0)}e^{-ms}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{-ns}\right)\Big]ds=¿$$

$$¿\,\psi(0)¿$$

$$-¿$$

Выберем теперь число α так, чтобы коэффициент при e^t был равен нулю. Для этого достаточно положить $¿0$. Тогда, разделив равенства (7) на $e^{\beta t}$ и положив $m+n=-2\beta$, получим

$$a_1\psi(0)\left(m^2e^{m\varphi(0)}e^{mt}+k\,n^2e^{n\varphi(0)}e^{nt}\right)+¿$$

$$+p_1\left(m\,e^{m\varphi(0)}e^{mt}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{nt}\right)+p_2\left(e^{m\varphi(0)}e^{mt}+k\,e^{n\varphi(0)}e^{nt}\right)+¿$$

$$+a_1\psi(0)\left(m^2e^{m\varphi(0)}e^{nt}+k\,n^2e^{n\varphi(0)}e^{mt}\right)+¿$$

$$+q_1\left(m\,e^{m\varphi(0)}e^{nt}+k\,ne^{n\varphi(0)}e^{mt}\right)+q_2\left(e^{m\varphi(0)}e^{nt}+k\,e^{n\varphi(0)}e^{mt}\right)+¿$$

$$+\psi(0)\left(\frac{e^{m\varphi(0)}}{m+\beta}e^{mt}+k\frac{e^{n\varphi(0)}}{n+\beta}e^{nt}-\frac{e^{m\varphi(0)}}{m+\beta}e^{nt}-k\frac{e^{n\varphi(0)}}{n+\beta}e^{mt}\right)=0.$$

Откуда, приравнивая коэффициенты при e^{mt} и e^{nt} к нулю, получаем систему трех уравнений с тремя неизвестными для определения m,n,k:

$$\left.\begin{array}{c} m+n=-2\beta, \\ e^{m\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)m^2+p_1m+p_2+\dfrac{\psi(0)}{m+\beta}\right)+k\,e^{n\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)n^2+q_1n+q_2-\dfrac{\psi(0)}{n+\beta}\right)=0, \\ k\,e^{n\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)n^2+p_1n+p_2+\dfrac{\psi(0)}{n+\beta}\right)+e^{m\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)m^2+q_1m+q_2+\dfrac{\psi(0)}{m+\beta}\right)=0. \end{array}\right\}$$

Так как по условию $m+n=-2\beta$, то $n+\beta=-(m+\beta)$. Поэтому полученную систему можно представить в виде

$$\left.\begin{array}{c} m+n=-2\beta, \\ e^{m\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)m^2+p_1m+p_2\right)+k\,e^{n\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)n^2+q_1n+q_2\right)=\dfrac{-\psi(0)}{m+\beta}\left(e^{m\varphi(0)}+k\,e^{n\varphi(0)}\right), \\ ke^{n\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)n^2+p_1n+p_2\right)+e^{m\varphi(0)}\left(a_1\psi(0)m^2+q_1m+q_2\right)=\dfrac{\psi(0)}{m+\beta}\left(e^{m\varphi(0)}+k\,e^{n\varphi(0)}\right). \end{array}\right\} \quad (8)$$

Сумма двух последних уравнений системы (8) дает

$$e^{m\varphi(0)}\left(2a_1\psi(0)m^2+(p_1+q_1)m+(p_2+q_2)\right)+ke^{n\varphi(0)}\left(2a_1\psi(0)n^2\right)+¿$$

$$+(p_1+q_1)n+(p_2+q_2))=0,$$

откуда

$$k=-e^{(m+n)\varphi(0)}\frac{2a_1\psi(0)m^2+(p_1+q_1)m+(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)n^2+(p_1+q_1)n+(p_2+q_2)}. \quad (9)$$

Поставляя найденное значение k во второе уравнение системы (8) и учитывая при этом равенство $n+\beta=-(m+\beta)$, получим

$$a_1\psi(0)m^2+p_1m+p_2-\frac{2a_1\psi(0)m^2+(p_1+q_1)m+(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)n^2+(p_1+q_1)n+(p_2+q_2)}\left(a_1\psi(0)n^2+q_1n+q_2\right)=¿$$

$$¿\,2\psi(0)\frac{\left(-4a_1\psi(0)\beta+(p_1+q_1)\right)}{2a_1\psi(0)n^2+(p_1+q_1)n+(p_2+q_2)}.$$

Таким образом, убедились, что для определения m,n,k имеется система уравнений

$$\left\{\begin{array}{c} m+n=-2\beta, \\ k=-e^{(m+n)\varphi(0)}\cdot\dfrac{2a_1\psi(0)m^2+(p_1+q_1)m+(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)n^2+(p_1+q_1)n+(p_2+q_2)}, \\ \left(a_1\psi(0)m^2+p_1m+p_2\right)\left(2a_1\psi(0)n^2+(p_1+q_1)n+(p_2+q_2)\right)-¿-\left(2a_1\psi(0)m^2+(p_1+q_1)m+(p_2+q_2)\right)\left(a_1\psi(0)\right. \end{array}\right.$$

После некоторых вычислений заметим, что для определения m и n имеет место система двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\left.\begin{array}{c} m+n=-2\beta, \\ \sigma(mn)+¿0. \end{array}\right\} \quad (10)$$

где

$$\left.\begin{array}{c} \sigma=2\beta a_1\psi(0)(q_1-p_1)+2\beta a_1\psi(0)(q_2-p_2)+p_1^2-q_1^2, \\ ¿\,4\beta^2a_1\psi(0)(p_2-q_2)+2\beta(q_1q_2-p_1p_2)+p_1^2-q_1^2+2\psi(0)\left(4a_1\psi(0)\beta-q_1-p_1\right), \end{array}\right\} \quad (11)$$

Таким образом, m,n,k определяется формулами

$$\begin{cases} m_{1,2}=-\beta\pm\sqrt{\beta^2+\dfrac{\mu}{\sigma}}, n_{1,2}=-\beta\mp\sqrt{\beta^2+\dfrac{\mu}{\sigma}}, \\ k_{1,2}=-e^{(m_{1,2}-n_{1,2})\varphi(0)}\cdot\dfrac{2a_1\psi(0)m_{1,2}^2(p_1+q_1)m_{1,2}+(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)n_{1,2}^2(p_1+q_1)n_{1,2}+(p_2+q_2)}. \end{cases} (12)$$

Частные решения однородного уравнения (5), соответствующие параметром $(m_1,n_1,k_1),(m_2,n_2,k_2)$, линейно зависимы. Поэтому общее решение уравнения (5) представить в виде [1]:

$$\overline{f}(x)=C\left(e^{m_1 t}+k\,e^{n_1 t}\right). (13)$$

где $C-$¿ произвольная постоянная, (m_1,n_1,k_1) определяется формулами (12).

Мы убедились, что величина σ определятся формулой [6]:

$$\sigma=4a_2a_3\varphi'(0)(\psi(0))^2,$$

$$4\beta^2a_1\psi(0)(p_2-q_2)+2\beta(q_1q_2-p_1p_2)+p_2^2-q_2^2=-4a_2a_3\varphi'(0)(\psi(0))^2\beta^2$$

и, следовательно, *m* и *n* определяется формулами

$$m_1=-\beta+\sqrt{\frac{\psi(0)(4a_1\psi(0)\beta-q_1-p_1)}{2a_2a_3\varphi'(0)(\psi(0))^2}}, n_1=-\beta-\sqrt{\frac{\psi(0)(4a_1\psi(0)\beta-q_1-p_1)}{2a_2a_3\varphi'(0)(\psi(0))^2}} (14)$$

для краткости введем обозначение

$$\omega=. (15)$$

Пусть $\omega>0$ и $F(x)-$¿какое-нибудь частное решение неоднородного уравнения (4), тогда общее решение уравнения (4) можно представить в виде [5]:

$$f(t)=\overline{f}(t)+F(t), (16)$$

где $\overline{f}(t)-$¿общее решение однородного уравнения (5), определенное формулой (13).

Используя функцию (16), согласно (4), построим решение уравнения (1), удовлетворяющее граничному условию (2) и начальному условию (3):

$$u(x,t)=\psi(x)\left[e^{\beta t}f((x)+t)+e^{-\beta t}f((x)-t)\right]=¿$$

$$¿\,\psi(x)\left\{C\left[e^{\beta t}\left(e^{m_1((x)+t)}+k_1e^{n_1((x)+t)}\right)+e^{-\beta t}\left(e^{m_1((x)-t)}+k_1e^{n_1((x)-t)}\right)\right]\right\}+¿$$

$$+\psi(x)\left[e^{\beta t}F((x)+t)+e^{-\beta t}F((x)-t)\right]. (17)$$

Пусть теперь $\omega<0$. В этом случае, согласно (12), для комплексных чисел m_1,n_1,k_1 имеют место формулы [3]:

$$\begin{cases} m_1=-\beta+i\sqrt{-\omega}, n_1=-\beta-i\sqrt{-\omega}, \\ k_1=-e^{2i\sqrt{-\omega}(0)}\cdot\dfrac{2a_1\psi(0)m_1^2+(p_1+q_1)m_1+(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)n_1^2+(p_1+q_1)n_1+(p_2+q_2)}. \end{cases} (18)$$

Тогда общее решение однородного уравнения (5), соответствующие m_1, n_1, k_1 имеет вид

$$\overline{f}(t)=C¿$$

$$-e^{2t\sqrt{-\omega}\varphi(0)}\frac{2a_1\psi(0)(-\beta+i\sqrt{-\omega})^2+(p_1+q_1)(-\beta+i\sqrt{-\omega})(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)(-\beta-i\sqrt{-\omega})^2+(p_1+q_1)(-\beta-i\sqrt{-\omega})(p_2+q_2)}e^{(-\beta-i\sqrt{-\omega})t}\Bigg].$$

Здесь выражение для числа k_1можно преобразовать следующим образом [4]:

$$k_1=-e^{2i\sqrt{-\omega}\varphi(0)}\frac{2a_1\psi(0)(-\beta+i\sqrt{-\omega})^2+(p_1+q_1)(-\beta+i\sqrt{-\omega})(p_2+q_2)}{2a_1\psi(0)(-\beta-i\sqrt{-\omega})^2+(p_1+q_1)(-\beta-i\sqrt{-\omega})(p_2+q_2)}=¿$$

$$¿-e^{2i\sqrt{-\omega}\varphi(0)}\frac{+i}{-i}=-e^{2i\sqrt{-\omega}\varphi(0)}\left(\frac{\square^2\square^2}{\square^2+\square^2}+i\frac{2}{\square^2+\square^2}\right),$$

где

$$\left.\begin{array}{c} ¿2a_1\psi(0)(\beta^2+\omega)-\beta(p_1+q_1)+(p_2+q_2), \\ ¿\sqrt{-\omega}(p_1+q_1-4a_1\psi(0)\beta. \end{array}\right\}$$

так как, $\left|\dfrac{\square^2-\square^2}{\square^2+\square^2}+i\dfrac{2}{\square^2+\square^2}\right|=1$, то можно ввести обозначения

$$cos\theta=\frac{\square^2\square^2}{\square^2+\square^2}, sin\theta=\frac{2}{\square^2+\square^2}. (19)$$

Тогда, согласно формуле Эйлера,

$$k_1=-e^{2i\sqrt{-\omega}\varphi(0)}(cos\theta+isin\theta)=-e^{2i\sqrt{-\omega}\varphi(0)}\cdot e^{i\theta}=-e^{i(2\sqrt{-\omega}\varphi(0)+\theta)}, (20)$$

где θ определяется из (19). Используя (20), функцию $\overline{f}(t)$ можно преобразовать следующим образом:

$$\overline{f}(t)=C\left(e^{(-\beta+i\sqrt{-\omega})t}-e^{i(2\sqrt{-\omega}\varphi(0))}e^{(-\beta-i\sqrt{-\omega})t}\right)=Ce^{-\beta t}\left(e^{i\sqrt{-\omega}t}-e^{i(2\sqrt{-\omega}\varphi(0)+\theta-\sqrt{-\omega}t}\right)=¿$$

$$¿Ce^{-\beta t}\left(\cos\sqrt{-\omega}t-\cos\left(2\sqrt{-\omega}\varphi(0)+\theta-\sqrt{-\omega}t\right)+¿\right.$$

$$\left.+i\left(\sin\sqrt{-\omega}t-\sin\left(2\sqrt{-\omega}\varphi(0)+\theta-\sqrt{-\omega}t\right)\right),\right.$$

или, окончательно

$$\overline{f}(t)=Ce^{-\beta t}\sin\left(\sqrt{-\omega}t-\sqrt{-\omega}\varphi(0)-\frac{\theta}{2}\right) (21)$$

где через C обозначено число $C=2\left[i\cos\left(\sqrt{-\omega}\,\varphi(0)+\frac{\theta}{2}\right)+\sin\left(\sqrt{-\omega}\,\varphi(0)+\frac{\theta}{2}\right)\right]$.

Таким образом, при $\omega<0$ общее решение неоднородного уравнения (4) определяется формулой

$$f(t)=C\,e^{-\beta t}\sin\left(\sqrt{-\omega}\,t-\sqrt{-\omega}\,\varphi(0)-\frac{\theta}{2}\right)+F(t),\quad(22)$$

где $F(t)-$¿какое-нибудь частное решение уравнения (4).

Используя функцию (22), согласно (4), построим решение (1), удовлетворяющее граничному условию (2) и начальному условию (3):

$$u(x,t)=\psi(x)¿$$

$$+e^{-\beta t}\left(e^{-\beta(\varphi(x)-t)}\sin\left[\sqrt{-\omega}(\varphi(x)-t)-\sqrt{-\omega}\,\varphi(0)-\frac{\theta}{2}\right]+F(\varphi(x)-t)\right)\Bigg\}=¿$$

$$¿\,\psi(x)¿$$

$$+\sin\left(\sqrt{-\omega}(\varphi(x)-t)-\sqrt{-\omega}\,\varphi(0)-\frac{\theta}{2}\right)\Bigg]+e^{\beta t}F(\varphi(x)+t)+e^{-\beta t}F(\varphi(x)-t)\Big\},$$

или, окончательно

$$u(x,t)=\psi(x)\times$$

$$\times\left[C_1\left(\cos\sqrt{-\omega}\,\varphi(x)-\omega\varphi(0)-\frac{\theta}{2}\right)\sin\sqrt{-\omega}\,t+e^{\beta t}F(\varphi(x)+t)+e^{-\beta t}F(\varphi(x)-t)\right].\quad(23)$$

где $C_1=2C$.

Вывод. В данной работе построено в явном виде (23) решение уравнения колебаний (1) с переменными коэффициентами и более общими, чем в [3], граничными условиями. Это решение может быть использовано в дальнейшем, например, для задач оптимального управления процессами колебаний (см.[2]).

Литература

1. Самарский А.А, Михайлов А.П. Математическое моделирование. М.: Физмат, 2005.
2. А.М. Самойленко, С.А. Кривошев Дифференциальные уравнения. Киев, Высшая школа 2000г.
3. Ибрагимов Н.Х., Практический курс дифференциальных уравнений и математического моделирования. – Н.Новгород: Изд-во ННГУ – 2007. – 421 с.
4. Степанов В.В., Курс дифференциальных уравнений. – М.: Эдиториал УРСС. – Изд. 8, стер. – 2004. – 472 с.
5. Матвеев Н.М., Методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений. 6-е изд. – С-Пб.: «Лань». – 2004. – 832 с.

6. Матвеев Н.М., Сборник задач и упражнений по обыкновенным дифференциальным уравнениям. 7-е изд., доп. – С-Пб.: «Лань». – 2002. – 432 с.
7. Кутунаев Ж.Н. // Известия НАН КР, 2006, №4, С.7-11.

СЕКЦИЯ 2

Ақпараттық-телекоммуникациялық технологиялар: Деректерді беру жүйелері мен желілері. Интернет технологиясы. Бұлтты технологиялар. Параллельді есептеу. Таратылған есептеу. Суперкомпьютерлік және кластерлік жүйелер. Үлкен көлемдегі деректерді өңдеу (Big-data). Геоақпараттық жүйелер мен технологиялар. Инновациялық білім беру технологиялары

Информационно-телекоммуникационные технологии: Системы и сети передачи данных. Интернет-технологии. Облачные технологии. Параллельные вычисления. Распределённые вычисления. Суперкомпьютерные и кластерные системы. Обработка больших объёмов данных (Big-data). Геоинформационные системы и технологии. Инновационные образовательные технологии

Information and telecommunication technologies: Data transmission systems and networks. Internet technologies. Cloud technologies. Parallel computing. Distributed computing. Supercomputer and cluster systems. Big-data processing. Geoinformation systems and technologies. Innovative educational technologies

ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ГЕОРАДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В КАЗАХСТАНЕ

К.М. Сагиндыков, А.Т. Кусаинова
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
E-mail: gkenenbaeva@mail.ru; Elaman0527@gmail.com

Аннотация. *В Казахстане, в частности на территории Акмолинской области, проблема своевременной диагностики и мониторинга состояния дорожной одежды приобретает особое значение. Развитие инфраструктуры, рост интенсивности движения и изменения климатических условий требуют внедрения высокоточных методов контроля состояния дорог для обеспечения их безопасности и долговечности. Одним из наиболее эффективных инструментов диагностики является георадиолокация (GPR) с использованием различных георадаров. В данном докладе рассматривается формирование базы экспериментальных данных, полученных в результате диагностики дорожных конструкций. Проведены экспериментальные исследования на автомобильных дорогах Акмолинской области Республики Казахстан с использованием прибора серии ОКО совместно с сотрудниками организации РГП «Национальный центр качества дорожных активов». Приложение разработано на универсальном языке Java для высоконагруженных и производительных приложений, что позволяет использовать весь ресурс оперативной памяти и вычислительных процессоров. В качестве хранилища данных выбрана СУБД PostgreSQL — мощная и надежная СУБД.*

Ключевые слова: *база данных, георадиолокационные измерения, GPR, дорожная одежда.*

Введение. Транспортная сеть Акмолинской области является важным звеном в системе автомобильных дорог Казахстана, и ее качество напрямую влияет на экономическое развитие региона. Развитие инфраструктуры, рост интенсивности движения и изменения климатических условий требуют внедрения высокоточных методов контроля состояния дорог для обеспечения их безопасности и долговечности. Оценка состояния дорожных конструкций традиционными методами, такими как бурение или визуальный осмотр, является трудоемкой, дорогостоящей и не всегда точной. Одним из наиболее эффективных инструментов диагностики является георадиолокация (GPR) с использованием различных георадаров. Использование георадара «Око-2» позволяет оперативно выявлять дефекты в слоях дорожной одежды без их разрушения, что особенно актуально для экономии бюджетных средств на ремонт и содержание дорог.

Метод георадиолокации с применением георадара «Око-2» предоставляет точную информацию о внутренних дефектах дорожных покрытий, таких как пустоты, трещины, просадки и наличие воды в слоях дорожной одежды. Георадар позволяет получать данные о структуре слоев дорожного покрытия, что является ключевым для оценки их состояния и планирования ремонтных работ. Важно отметить, что данный метод не нарушает целостность покрытия, что увеличивает срок службы дорог и снижает эксплуатационные расходы.

Процесс георадиолокационного обследования генерирует огромные массивы данных, которые необходимо обрабатывать и хранить для дальнейшего анализа. Систематизация данных с последующей обработкой (фильтрация, интерпретация, анализ) позволяет выявлять закономерности, которые могут быть использованы для прогнозирования состояния дорожных покрытий и разработки стратегий их обслуживания. Современные

методы анализа данных и построения баз данных, такие как те, что применяются для хранения данных георадиолокационных измерений, позволяют существенно повысить точность диагностических результатов. Разработка единой базы экспериментальных и расчетных исследований играет важную роль в современном управлении данными, помогая эффективно хранить, извлекать и управлять данными. В ходе работы были проведены экспериментальные исследования на автомобильных дорогах Акмолинской области Республики Казахстан с ис-пользованием прибора серии ОКО совместно с сотрудниками организации РГП «Националь-ный центр качества дорожных активов» [1].

1. Проектирование базы данных экспериментальных данных

В качестве хранилища данных была выбрана СУБД PostgreSQL. PostgreSQL — это мощная реляционная база данных с открытым исходным кодом, которая обладает расширен-ным набором функций для обработки и хранения информации. С полной поддержкой алго-ритмов транзакций и механизмов контроля целостности данных PostgreSQL обеспечивает вы-сокую надежность и безопасность операций. Механизм работы базы данных PostgreSQL ос-нован на ключевых принципах, которые обеспечивают ее надежность, эффективность и мас-штабируемость. База данных PostgreSQL использует новаторские методы обработки данных, что делает ее выдающейся в сфере управления информацией. Все компоненты бесплатны и неоднократно зарекомендовали себя в самого разного рода системах по всему миру. На рисунке 1 представлена схема разработанной базы данных [2].

В этой базе данных используется несколько таблиц (сущностей), которые связаны между собой отношениями:

- Таблица users (Пользователи): хранит информацию об администраторах и пользователях, которые могут создавать и обновлять записи в системе.
- Таблица antena (Антенны): хранит информацию об антеннах, используемых в экспериментах.
- Таблица layer (Слои): описывает различные слои дорожного покрытия (дорожной одежды).
- Таблица road (Дороги): описывает дороги, на которых проводились эксперименты.
- Таблица road_type (Типы дорог): содержит справочную информацию о типах дорог.
- Таблица experiment (Эксперименты): описывает эксперименты, проводимые на дорогах с использованием различных антенн.
- Таблица experiment_files (Файлы экспериментов): содержит файлы, полученные в ходе экспериментов.
- Таблица experiment_data (Обработанные данные экспериментов): содержит обработанные данные, полученные в ходе экспериментов.
- Таблица experiment_raw_data (Данные экспериментов – отклики среды): содержит «отклик среды», полученные во время экспериментов.
- Таблица kern (Испытания керна): описывает результаты испытаний кернов (образцов материала).

В этой базе данных можно выделить несколько ролей пользователей, каждая из которых обладает определённым набором прав и обязанностей. Разделение на роли помогает управлять доступом к данным и функциональными возможностями системы.

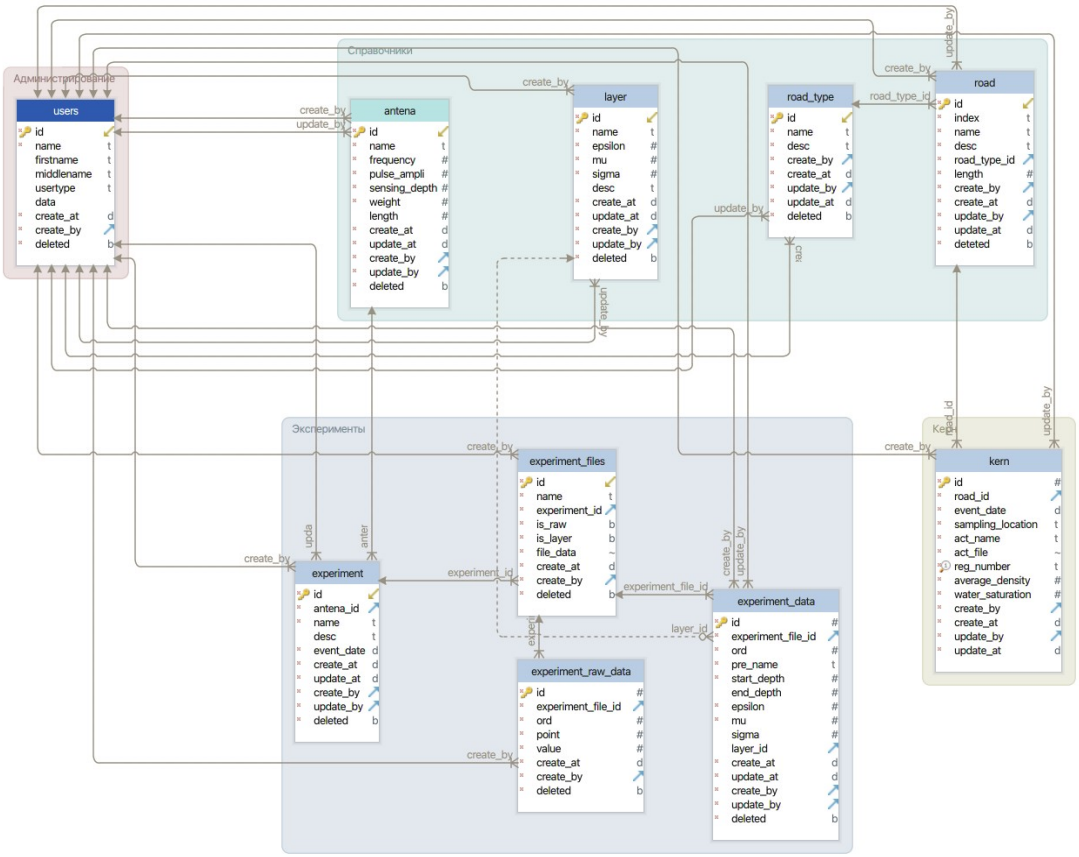


Рисунок 1 – Схема разработанной базы данных

Ниже приведены основные возможные роли, исходя из схемы базы данных:

1. Администратор системы:

Обязанности:

- Управление пользователями (создание, изменение, удаление).
- Назначение ролей пользователям.
- Контроль за целостностью базы данных и безопасностью данных.
- Управление настройками базы данных и её аудитом (отслеживание логов действий, фиксация изменений).

Права:

- Полный доступ ко всем таблицам и данным.
- Возможность создания, изменения и удаления любых записей, включая экспе-рименты, слои, антенны, дороги и данные экспериментов.
- Полный доступ к управлению учетными записями пользователей, включая уда-ление или восстановление записей (поле deleted).
- Доступ к системным функциям, таким как резервное копирование и восстановление данных.

2. Руководитель проектов:

Обязанности:

- Управление и мониторинг экспериментов.
- Назначение пользователей для выполнения исследований и ввода данных.
- Анализ полученных данных и составление отчетов.

Права:

- Доступ к таблицам, связанным с экспериментами, дорогами, антеннами, слоями и результатами экспериментов.
- Возможность создания и изменения записей в таблицах experiment, experiment_files, experiment_data, experiment_raw_data, kern.
- Возможность просматривать и анализировать данные, но не удалять критические записи (доступ к полю deleted ограничен).
- Просмотр отчетов и анализ данных по испытаниям.

3. Инженер-исследователь:

Обязанности:

- Проведение экспериментов с использованием антенн и оборудования.
- Ввод данных экспериментов в систему (сохранение данных об антеннах, слоях, файлах экспериментов).
- Проведение испытаний кернов и ввод соответствующих данных.

Права:

- Доступ к созданию записей в таблицах experiment, experiment_files, experiment_data, experiment_raw_data, kern.
- Возможность обновления данных по своим экспериментам.
- Ограниченные права на просмотр и изменение данных в других таблицах, таких как antena, layer, road, и т.д.
- Нет прав на удаление данных или управление пользователями.

4. Просмотр (Read-Only Пользователь):

Обязанности:

- Просмотр данных без возможности их изменения.

Права:

- Доступ только для чтения ко всем таблицам базы данных.
- Никаких прав на создание, изменение или удаление записей.
- Эта роль может быть назначена для внешних проверяющих, аудиторов или третьих лиц, которым требуется доступ к данным для анализа без возможности их модификации.

Такое разделение ролей помогает обеспечить безопасность и целостность данных, огра-ничивая доступ к критически важным операциям, таким как удаление и редактирование ин-формации, только для уполномоченных пользователей. Роли, такие как администратор и ру-ководитель проекта, обладают большим уровнем доступа, тогда как инженер-исследователь ограничены лишь функционалом, связанным с их непосредственными обязанностями.

2. Область применения

Данная база данных предназначена для хранения, управления и анализа данных, полученных в результате экспериментов, связанных с изучением дорожной одежды.

Основная область применения — исследовательские и научные проекты, направленные на изучение состояния и свойств дорожных покрытий с использованием различного оборудования, в частности, различных антенн радара ОКО – 2 для измерений, а также анализа данных кернов (образцов дорожного материала). Это позволяет специалистам вести учет результатов исследований, анализировать изменения характеристик материалов и вести архив проведенных испытаний и их результатов.

3. Функциональные возможности

1. Хранение данных о проведенных экспериментах на дорогах Казахстана;
2. Хранение справочной информации о слоях дорожной одежды, антеннах георадара, используемых при исследовании дорог;
3. Хранение о типах дорогах Республики Казахстан.
4. Управление файлами, связанными с экспериментами, и хранение сырых дан-ных.

5. Управление пользователями с различными уровнями доступа, отслеживание изменений в данных (система аудита).

6. Ведение учета данных по испытаниям кернов, включая плотность и водонасыщение материалов.

7. Поиск и фильтрация данных по различным параметрам (например, по типам дорог, антенн, слоям и результатам экспериментов).

8. Мягкое удаление данных с возможностью восстановления.

9. Логирование операций создания, изменения и удаления данных.

Заключение

В ходе исследования была разработана базы экспериментальных данных, полученных в результате диагностики дорожных конструкций.

Преимущество базы данных:

- Централизованное хранение данных: Вся информация об экспериментах, слоях дорожной одежды, антеннах георадара, дорогах и пользователях хранится в единой системе, что облегчает управление и доступ к данным.

- Отслеживание изменений: Система аудита (поля create_by, update_by, create_at, update_at) позволяет отслеживать, кто и когда вносил изменения в данные, что улучшает контроль за целостностью информации.

- Связь данных: благодаря связям между таблицами, можно легко находить взаимосвязи между экспериментами, слоями и дорогами.

- Гибкость хранения данных: Возможность хранения как файлов данных экспериментов, так и сырых данных, что делает систему универсальной для различных видов анализа.

- Безопасность: Флаг удаления (deleted) позволяет мягко удалять записи, сохраняя их для восстановления или анализа в будущем.

Список литературы

1. Кусаинова А.Т., Жусупов Т., Калменов К., Сайтова Р.Б., Татин А. Экспериментальные исследования с помощь георадара серии «ОКО» для различных типов дорожной одежды Республики Казахстан // Материалы Евразийской научной конференции «Обратные и некорректные задачи в естествознании и искусственный интеллект». – Алматы, 2024 г. – С. 52.

2. Кусаинова А.Т., Боранбаев С.А., Оралбекова Ж.О., Турарова М.К. Проектирование базы данных экспериментальных исследований для различных типов дорожной одежды // Сборник материалов международной научной конференции «Современное состояние и перспективы развития современной науки и образования». – Караганды, 2024. – С. 232-238.

Сагиндыков Каким Молдабекович – к.т.н., доцент Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, 010000 Астана, e-mail: ksagin@mail.ru

Кусаинова Айнур Толеубековна – докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, 010000 Астана, e-mail: ainurkussainova89@gmail.com

УАҚЫТ КІДІРІСІ БАР ЖОҒАРЫ РЕТТІ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ БАҚЫЛАУ ҮШІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ

Н. Тасболатұлы[1], К. Алимхан[2], Г.Б. Бахадирова[1]
[1]Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан
[2]Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: nurbolat.tasbolatuly@aiu.edu.kz

***Аннотация**. Бұл мақалада кері байланыс арқылы уақыт кідірісі бар жоғары ретті сызықтық емес жүйелер класын глобалды бақылауды компьютерде модельдеу мәселесі қарастырылады. Зерттеу нысаны-сызықтық емес жүйе, негізгі мақсаты-эталонды сигналды қолдана отырып, зерттелген сызықтық емес жүйенің шығысын реттеуге мүмкіндік беретін басқару функциясын құру және оны компьютерде модельдеу. Жұмыс сызықты еместіктің жоғарғы шегінің дәрежесі үздіксіз аралықта анықталатын жүйені зерттеуге байланысты өзінің ғылыми жаңалығымен ерекшеленеді. Сонымен қатар, бұл мақалада бұрын қол жеткізілген нәтижелерді растау үшін зерттеу әдістеріне және компьютерлік модельдеуге баса назар аударылады.*

Басқару теориясы мен инженериясындағы күрделі мәселелердің бірі ол сызықтық емес жүйелерді бақылау болып табылады. Сызықтық емес жүйелер дегеніміз – бұл сызықтық теңдеулермен сипаттауға келмейтін жүйелер. Сызықтық жүйелерден айырмашылығы, мұнда компоненттер арасындағы өзара әрекеттестіктер күрделі және болжаусыз болуында. Мұндай жүйелер хаос, бифуркация, гистерезис және бірнеше тепе-теңдік сияқты күрделі құбылыстарды көрсетеді. Сызықтық емес жүйелерді басқару немесе бақылау дегеніміз – белгісіздіктердің, бұзылулардың және бейсызықтықтардың болуына қарамастан, жүйенің шығыс деректерін қажетті бағытқа бұра алатын алатын кіріс деректерін жобалауды айтамыз [1-8]. Сызықтық емес жүйелерді басқару робототехника, аэроғарыш, автомобиль, биомедициналық және химиялық инженерияда көптеген қосымшалары бар белсенді зерттеу саласы болып табылады [9-12]. Сызықтық емес жүйелерді бақылаудың тиімді әдістерін әзірлеу арқылы біз күнделікті өмірде қолданатын әртүрлі жүйелер мен құрылғылардың өнімділігі мен қауіпсіздігін жақсарта аламыз.

Сызықтық емес жүйелерді басқару практикада қалай іске асырылатынын және нақты әлемде қолданылуын қарастырайық. Белгілі бір тапсырманы орындайтын роботты қол, мысалы, объектіні алу, зерттелетін сызықтық емес жүйенің аффиндік жүйесіне сәйкес келетін сценарийді қарастырып көрейік. Басқару жүйесі – бұл роботты қолға бұл тапсырманы дәл және тиімді орындауға мүмкіндік беретін нәрсе. Мұндай есептерді шешу үшін сызықтық емес басқару әдістері осы күрделі қатынастарды тиімді талдау және манипуляциялау үшін озық математикалық модельдер мен алгоритмдерді пайдаланады. Олар роботтық жүйелерге белгісіздікпен күресуге, өзгеретін қоршаған орта жағдайларына бейімделуге, тұрақтылықты жақсартуға және қажетті өнімділік деңгейлеріне қол жеткізуге мүмкіндік береді [9,10].

Соңғы онжылдықтарда ғылыми қауымдастық сызықтық емес жүйелерді уақыт кідірісімен басқарудың қиындықтарын шешуге айтарлықтай қызығушылық танытты. Соңғы екі онжылдықта сызықтық емес басқару теориясы аясындағы әртүрлі әдістердің эволюциясында елеулі прогреске қол жеткізілді. Бұл әдістер компьютерлік модельдеуде айтарлықтай нәтижелерге қол жеткізіп қана қоймай, сонымен қатар озық технологиялардың негізгі рөлін атап өтті. Бұл саладағы жетістік, біріншіден, компьютерлік технологияның қарқынды дамуына және сызықтық емес процестерді мұқият және жылдам зерттеуге

мүмкіндік беретін жоғары сапалы бақылауға сұраныстың артуына байланысты. Екіншіден, жүйелерді синтездеу мен талдаудың үздіксіз жетілдірілуі өрістің оң траекториясын одан әрі дамытады.

Соңғы онжылдықтарда ғылыми қауымдастық уақыт кідірісі бар сызықтық емес жүйелерді басқарудың қиындықтарын шешуге айтарлықтай қызығушылық танытты. Соның нәтижесінде сызықтық емес басқару теориясы аясындағы әртүрлі әдістердің эволюциясында елеулі прогресс болды. Бұл саладағы жетістік, біріншіден, компьютерлік технологияның қарқынды дамуына және сызықтық емес процестерді мұқият және жылдам зерттеуге мүмкіндік беретін жоғары сапалы бақылауға сұраныстың артуына байланысты [13-16]. Екіншіден, жүйелерді синтездеу мен талдаудың үздіксіз жетілдірілуі зерттеуді одан әрі дамытты.

Төменде келтірілген уақыт кешігу параметрін қамтитын зерттеу тақырыбымызға негіз болған жоғары ретті сызықты емес жүйені қарастырайық:

$$\begin{cases} \dot{z}_i(t) = z_{i+1}^{p_i}(t) + \phi_i\left(z(t), z_1(t-\tau_1), ..., z_n(t-\tau_n)\right) \\ \dot{z}_n(t) = u^{p_n}(t) + \phi_n\left(z(t), z_1(t-\tau_1), ..., z_n(t-\tau_n)\right) \\ y(t) = z_1(t) \end{cases} \tag{1}$$

мұндағы $i = 1, ..., n-1,\ z(t) = [z_1(t), ..., z_n(t)]^T \in R^n$ зерттеліп жатқан жүйенің күйлері, $z_{n+1}(t) = u(t) \in R$ басқару немесе кіріс деректері, $\tau_i \in R^+$, $i = 1, ..., n$ $\tau \geq \max\{\tau_1, ..., \tau_n\}$ параметр және сәйкесінше уақытты кешіктіру шарты, $z(\theta) = \xi_0(\theta),\ \forall \theta \in [-\tau, 0]$ алғашқы мәндер, $\phi_i : R^n \times R^n \to R,\ i = \overline{1,n}$ - белгісіз үздіксіз функциялар, $p_i \in R_{odd}^{\geq 1} := \left\{ p/q \mid p \geq q \right\}$, $i = 1, ..., n$ - жүйенің жоғары реттілігін білдіреді, p және q бұлар тақ сандар.

(1) жүйе үшін біз келесі түрдегі басқаруды қолданатын боламыз

$$u = u(z, y_r(t)) \tag{2}$$

(2) формадағы үздіксіз контроллер және берілген (1) жүйе келесі шарттарды қанағаттандырады:

1) (1)-(2) жабық жүйенің барлық күйлері $[0, +\infty]$ аралығында анықталған және глобалды шектелген;

2) $|y(t) - y_r(t)| = |z_1(t) - y_r(t)| < \varepsilon,\ \forall t \geq T > 0$ (3)

Болжам 1. Кез-келген $i = 1, ..., n$ үшін $C_1, C_2 \geq 0$ және $\omega \geq 0$ константалары табылады және олар келесі теңсіздікті қанағаттандырады

$$\left|\phi_i(z(t), z_1(t-\tau_1), ..., z_n(t-\tau_n))\right| \leq C_1 \left(\sum_{j=1}^{i} \left| z_j(t) \right|^{\frac{r_i+\omega}{r_j}} + \sum_{j=1}^{i} \left| z_j(t-\tau_j) \right|^{\frac{r_i+\omega}{r_j}} \right) + C_2 \tag{4}$$

мұндағы

$$r_1 = 1, \quad r_i = \frac{r_{i-1} + \omega}{p_{i-1}}, \quad i = 2, 3, ..., n+1 \tag{5}$$

Болжам 2. Егер $D > 0$ оң белгісіз тұрақтысы табылса және келесі ол келесі теңсіздікті қанағаттандырса

$$\left|y_r(t)\right| + \left|\dot{y}_r(t)\right| \le D, \quad \forall t \in [0, +\infty) \tag{6}$$

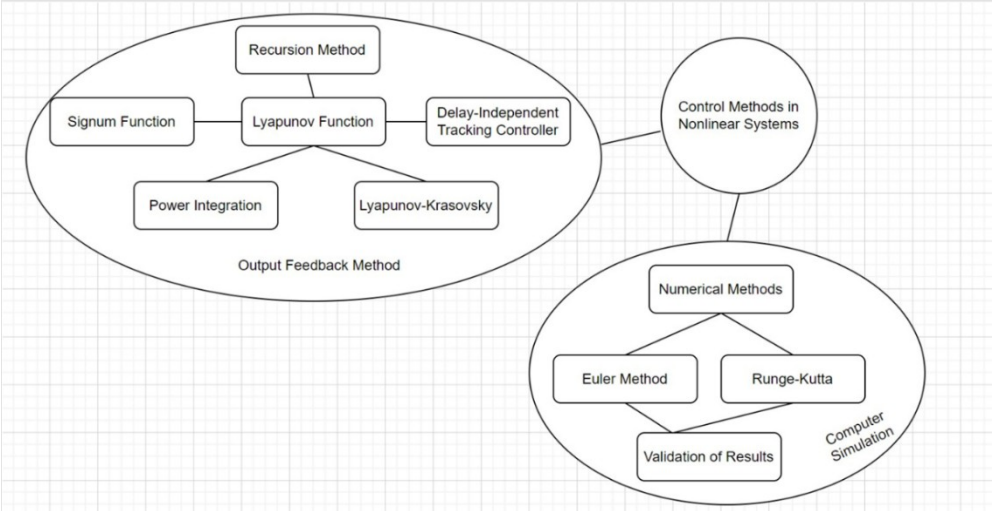
онда $y_r(t)$ эталонды сигналы үздіксіз дифференциалды.

Болжам 1 және Болжам 2 сәйкес, (1) жүйенің шығыс сигналын басқару мәселесі (2) түрдегі контроллердің көмегімен шешіледі. Бұл мәселені зерттеу нақты қадамдарды қамтиды. Бастапқыда біз контроллерге signum функциясын енгізу арқылы зерттелетін жүйенің өсу жағдайын жеңілдетіп, нақты қорытындыларға қол жеткіземіз. Кейіннен біз дәрежелік интеграторды енгізу әдісін қолданып басқару механизмін құратын боламыз. Алынған контроллер арқылы тұйық цикл жүйесіндегі барлық күйлер шектеулі екендігі және белгілі бір уақыт аралығында бақылау қателігі айтарлықтай аз болатындығын дәлелдейтіән боламыз. Сонымен қатар, Matlab функцияларын қолданып сызықтық емес жүйелерді шешудің сандық әдістерін қарастыруға баса назар аударылады. Біз сызықтық емес жүйелер үшін жиі қолданылатын итеративті әдістерді енгіземіз және сандық шешімдерді табуда Matlab мүмкіндіктерін зерттейміз.

Алдымен басқару процесі қалай іске асырылатын алгоритмді жобалайық:

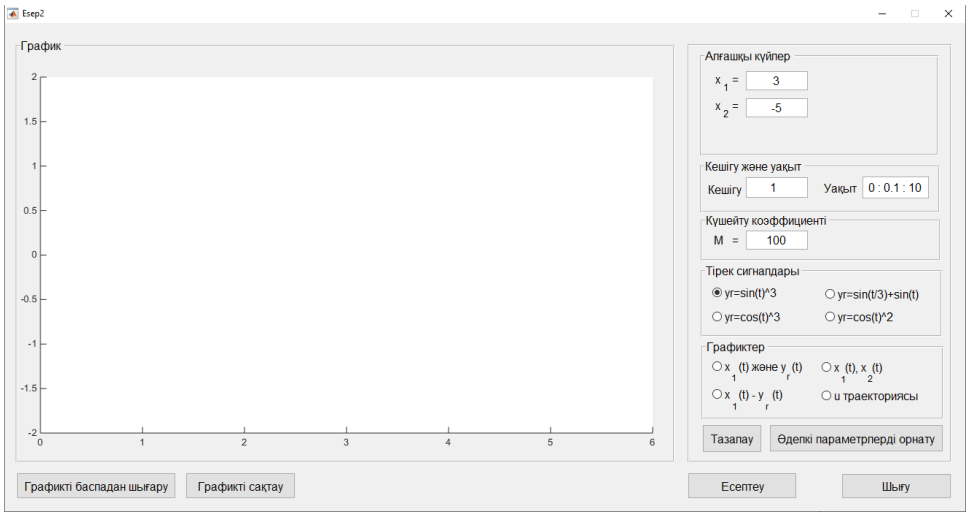
- Зерттеліп жатқан сызықтық емес жүйені берілген тірек сигнал ізіне түсіретін басқаруды табу үшін ең алдымен координата түрлендіруін енгіземіз;
- Түрлендірілген жүйенің номинал бөлігін асимптотикалық тұрақтандыратын басқаруды жобалаймыз;
- Зерттеліп жатқан жүйеміздің бірінші күй теңдеуіне Ляпунов кандидат функциясын белгілеп, сол функцияның туындысын 0-ден кіші ете алатындай виртуалды басқаруды табу керек;
- Алдыңғы қадамда табылған виртуалды басқару көмегімен екінші күй теңдеуіне Ляпунов кандидат функциясын белгілеу және сол функцияның туындысын 0-ден кіші ететіндей виртуалды басқаруды анықтау;
- Осы іс-әрекетті соңғы нақты басқару қатысқан теңдеуге дейін жалғастырып, одан әрі бүтін жүйені басқаратын нақты басқаруды анықтау;
- Табылған басқарудың көмегімен жүйенің шығыс сигналын көзделген тірек сигнал ізіне түсіру, яғни компьютерде модельдеу.

Сызықтық емес жүйелерді басқаруда барлық жағдайларға сәйкес келетін әмбебап әдіс жоқ. Бұл сызықтық емес динамиктердің әртүрлілігіне және олардың мінез-құлқына байланысты. Әртүрлі жүйелер әртүрлі тәсілдерді қажет етеді. Мысалы, қатты сызықтық емес жүйе коммутациялық басқаруды қолдануды қажет етуі мүмкін, ал жұмсақ сызықтық емес үшін адаптивті әдістер қолайлы болуы мүмкін. Сызықтық емес жүйелерді басқаруда ең жиі қолданылатын әдіс бұл сызықтандыру әдісі болып келеді. Алайда, бұл әрдайым осы нүктелерден алыс қашықтықта дәл нәтиже бере бермейді. Сонымен қатар соңғы зерттеулерде нейрондық желілер мен fuzzy логикасы да қолданылуда, бірақ бұл әдіс көп деректерді қажет етеді және шуылға сезімтал болуы мүмкін. Көбінесе іс жүзінде жүйенің қажетті мінез-құлқына жету үшін бірнеше әдістердің тіркесімі қолданылады (1-сурет). Мысалы, адаптивті басқаруды модельге негізделген әдістермен бірге қолдануға болады. Нәтижесінде сызықтық емес жүйелерді басқару әдісін таңдау жүйенің нақты сипаттамаларына, мақсатты міндеттер мен шектеулерге негізделуі керек.



1-сурет – Сызықтық емес жүйелерді басқару әдістері

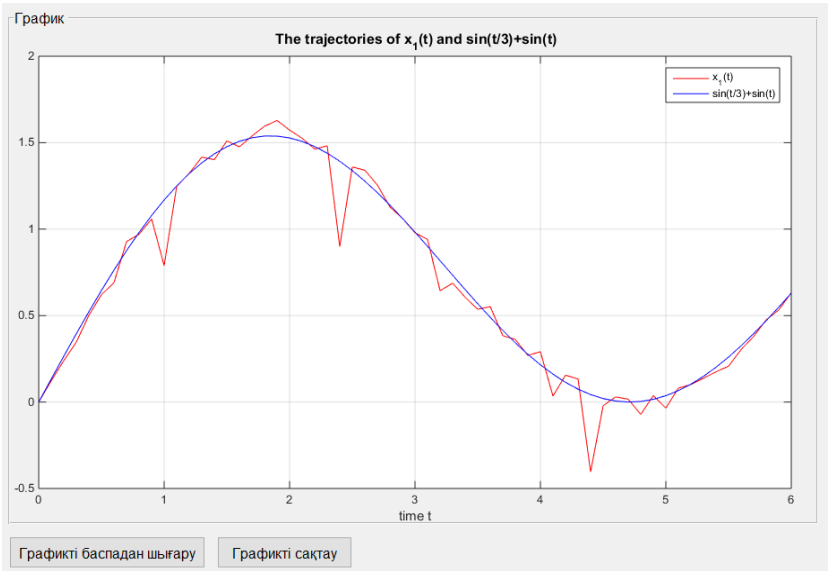
Зерттеуде сандық есептеуде dde23 (runge_kutta) функциясынан пайдаландық. Dde23 функциясы – тұрақты кідіріске ие дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешуге арналған Matlab ортасының функциясы. Бұл ағымдағы уақыттағы шешімді өткен уақыттағы шешіммен байланыстыратын қарапайым дифференциалдық теңдеулермен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Жүйедегі кідіріс тұрақты, уақытқа байланысты, күйге немесе туындыға тәуелді болуы мүмкін. Уақыттық кідіріс константа болған дифференциалдық теңдеулер жүйесінің шешімдері қарапайым жағдайларда үздіксіз болады, сонымен қатар олардың туындыларында үзілулер бар. Dde23 функциясы кіші разрядтағы үзілімдерді бақылайды. Сонымен қатар, компьютердік моделдеу жақсы көрініске ие болу үшін біз MatLab графикалық интерфейсі бар қосымшалар құруға бағдарланған GUIDE ортасын пайдаландық. Бұл ортада құрылған бағдарлама көрінісі 2-суретте берілді.



2-сурет – Уақыт кешігуі бар сызықтық емес жүйелерді компьютерде моделдеуді жобалау мысалы

Бұл бөлімде теориялық нәтижелердің негізділігі мен тиімділігін көрсету үшін сандық мысалды (1) жүйе үшін қарастыратын боламыз. Сандық есептеуде жоғарыда атап өткендей MATLAB GUI (MATrix LABoratory GUI – Графикалық Пайдаланушылық Интерфейсі) қолдандық. Бұл – жоғары деңгейлі көп парадигмалық тіл және сандық есептеу, визуализация және бағдарламалау үшін интерактивті орта болып табылады. MATLAB көмегімен деректерді талдауға, алгоритмдер құруға және сигналдар мен

коммуникацияларды өңдеуге, басқару жүйелеріндегі процестерді компьютерлік модельдеуге қол жеткіздік (3-сурет).



3-сурет – Компьютерлік моделдеу нәтижесі

Қорытынды

Бұл зерттеуде (1) жүйенің номинал формасы үшін біз бақылау контроллерін табуда қолданылатын әдістерді қарастырдық. Әрі қарай, Matlab GUI бағдарламасын қолдана отырып, біз (1) жүйенің компьютердегі әрекетін модельдедік және бақылау қатесін азайта алдық. Алайда іс жүзінде нақты жүйелер көбінесе әртүрлі бұзылуларға, белгісіздіктерге және бейсызықтықтарға ұшырайды, бұл олардың номиналды мінез-құлқынан ауытқуы мүмкін. Сондықтан, номиналды жүйені басқару жақсы бастапқы нүктені қамтамасыз ете алатынымен, осы факторларды ескеру және әртүрлі жұмыс жағдайларында қанағаттанарлық өнімділікті қамтамасыз ету үшін сенімді басқару әдістерін қолдану өте маңызды. Қорытындылай келе, номиналды жүйені басқаруды ол ұсынатын құрылғыны басқару ретінде қарастыруға болады, бірақ тиімді басқару үшін нақты әлем жүйелеріне тән қиындықтар мен белгісіздіктерді ескеру өте маңызды.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. K. Alimhan, N. Tasbolatuly, A. Yerdenova. Global output tracking control for high-order non-linear systems with time-varying delays // Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2021. - Vol. 99(13). - Pp. 3337-3352. https://www.jatit.org/volumes/Vol99No13/21Vol99No13.pdf
2. K. Alimhan, N. Otsuka, M.N. Kalimoldayev, N. Tasbolat. Practical output tracking for a class of uncertain nonlinear time-delay systems via state feedback // MATEC Web of Conferences, 2018. - Vol. 189. – 10027 p. https://doi.org/10.1051/matecconf/201818910027
3. K. Alimhan, M.N. Kalimoldayev, A.A. Adamov, O.Zh. Mamyrbayev, N. Tasbolatuly, A. Smolarz. Further results on output tracking for a class of uncertain high-order nonlinear time-delay systems // Przeglad Elektrotechniczny, 2019. - Vol. 95(5). - Pp. 88–91. https://doi.org/10.15199/48.2019.05.22
4. Z. Song, J. Zhai. Practical output tracking control for switched nonlinear systems: A dynamic gain based approach. Nonlinear Analysis: Hybrid Systems, 2018. - Vol. 30. - Pp. 147-162
.

5. C. Qian, S. He, Y. Zou. Compensator-Based Output Feedback Stabilizers for a Class of Planar Systems With Unknown Structures and Measurements // IEEE Transactions on Automatic Control, 2022. - Vol. 67. - Issue 4. - Pp. 2138-21431.
6. Q. Gong, C. Qian. Global practical output regulation of a class of nonlinear systems by output feedback. - Automatica, 2007. - Vol. 43(1). - Pp. 184-189.
7. K. Alimhan, H. Inaba. Practical output tracking by smooth output compensator for uncertain systems with unstabilisable and undetectable linearization. - Int. J. Modelling, Identification and Control, 2008. - Vol. 5. - Pp. 1-13.
8. K. Alimhan, H. Inaba. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems. - Int. J. Modelling, Identification and Control, 2008. - Vol. 4. - Pp. 304-314.
9. Z.Y. Wang, D.B. Gu. Cooperative target tracking control of multiple robots // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012. - Vol. 59. - No. 8. - Pp. 3232-3240.
10. X.H. Chen, Y.M. Jia, F. Matsuno. Tracking control for differential-drive mobile robots with diamond-shaped input constraints // IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2014. - Vol. 22. - No. 5. - Pp. 1999-2006.
11. L.G. Wu, X.B. Yang, F.B. Li. Nonfragile output tracking control of hypersonic air-breathing vehicles with an LPV model // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2013. - Vol. 18. - No. 4. - Pp. 1280-1288.
12. A. Sanyal, N. Nordkvist, M. Chyba. An almost global tracking control scheme for maneuverable autonomous vehicles and its discretization // IEEE Transactionson Automatic Control, 2011. - Vol. 56. - No. 2. - Pp. 457-462.
13. S. Micula. Nonlinear Equations in MATLAB. - ResearchGate, 2014. - Pp. 1-14. https://www.researchgate.net/publication/273000021
14. D.W. Gu, H.P. Petkov, M.M. Konstantinov. Robust Control Design with MATLAB. Second Edition. - Springer-Verlag London, 2013. - 491 p.
15. L. Keviczky, R. Bars, J. Hetthéssy, C. Bányász. Control Engineering: MATLAB Exercises. - Springer Singapore, 2018. - 275 p. https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-8321-1
16. A. Azemi, E.E. Yaz. Utilizing SIMULINK and MATLAB in a graduate nonlinear systems analysis course. - Frontiers in Education Conference, 1996. - Vol. 2. - Pp. 595-598.

Тасболатұлы Нұрболат – Международный университет Астана, PhD, доцент Высшей школы информационных технологий и инженерии, nurbolat.tasbolatuly@aiu.edu.kz

Алимхан Кейлан – Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, PhD, профессор кафедры Математического и компьютерного моделирования, keylan@live.jp

Бахадирова Гулназ Бекуалыкызы – Международный университет Астана, докторант, старший преподаватель Высшей школы информационных технологий и инженерии, gulnaz.bahadirova.84@mail.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IIOT ТЕХНОЛОГИЙ

Т.Р. Ишмурзин, Б.С. Амирханов, М.Ж. Сакыпбекова, Г.А.Тюлепбердинова
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
E-mail: timon.ishmurzin@gmail.com, amirkhanov.b@gmail.com;
sakypbekova.meruyert@gmail.com, tyulepberdinova@gmail.com

***Аннотация**. В статье проводится сравнительный анализ решений для визуализации и мониторинга данных, поступающих с IIoT устройств, с целью разработки цифрового двойника. Рассматриваются два популярных подхода: использование платформы Grafana с Prometheus и Grafana с InfluxDB. Приводится описание архитектуры системы и экспериментальные данные, основанные на визуализации синусоидальной функции, сгенерированной через Python-скрипт и переданной через Prometheus Pushgateway в Grafana. Эксперимент показал, что решение с Prometheus обеспечивает высокую гибкость, точность и масштабируемость в условиях мониторинга данных в реальном времени. Рассматриваются ключевые преимущества и недостатки каждой платформы для создания промышленного цифрового двойника, что позволяет сделать выводы о применимости каждой из них в зависимости от потребностей и специфики проекта.*

***Ключевые слова:** Визуализация данных, Мониторинг, Digital Twin, IIoT, IoT, InfluxDB, Dashboard, Grafana, Prometheus, Потоковые данные*

Введение. Цифровой двойник — это виртуальная модель физического объекта или процесса, которая позволяет отслеживать его состояние в реальном времени и оптимизировать работу на производстве [1]. Создание цифрового двойника требует использования различных систем мониторинга и визуализации потоковых данных. Одним из ключевых инструментов для этих целей является Grafana, платформа с открытым исходным кодом для визуализации данных, которая поддерживает множество источников данных [2]. Grafana используется в различных промышленных приложениях для создания настраиваемых дашбордов и мониторинга систем в реальном времени. Она тесно интегрируется с различными источниками данных, включая базы данных временных рядов, такие как Prometheus и InfluxDB [3]. Важно отметить, что Grafana используется многими организациями для визуализации данных IIoT платформ [4], а её интеграция с облачными решениями позволяет гибко управлять потоковыми данными [5].

Для сбора и анализа данных с устройств IIoT часто применяются системы мониторинга, такие как Prometheus [6]. Prometheus позволяет собирать метрики с устройств и систем, обрабатывать их с использованием мощного языка запросов PromQL и интегрировать с Grafana для визуализации данных в режиме реального времени [7]. В то же время, InfluxDB является альтернативным решением, которое оптимизировано для долгосрочного хранения данных и также может быть интегрировано с Grafana для визуализации временных рядов данных [8]. Особую важность имеет выбор подходящей платформы для разработки цифрового двойника, учитывая специфические требования к хранению и анализу данных. Например, InfluxDB обеспечивает удобство работы с временными рядами данных в долгосрочной перспективе, что подтверждается рядом исследований и проектов, в которых она применялась для создания цифровых двойников [9, 10].

Цель данной работы — провести сравнительный анализ решений Grafana с Prometheus и Grafana с InfluxDB для мониторинга и визуализации данных, поступающих с IIoT устройств, и оценить их эффективность при разработке цифрового двойника.

2. Методология

2.1 Архитектура цифрового двойника

В эксперименте использовалась связка Grafana и Prometheus для мониторинга и визуализации данных с IIoT устройств. В рисунке 1 представлена архитектура системы, которая включала:

- IIoT устройства для сбора данных о параметрах оборудования в реальном времени.
- Prometheus как основная система сбора данных, которая использует модель pull-based для запросов метрик с устройств.
- Grafana для визуализации данных, поступающих в виде временных рядов через Prometheus Pushgateway.

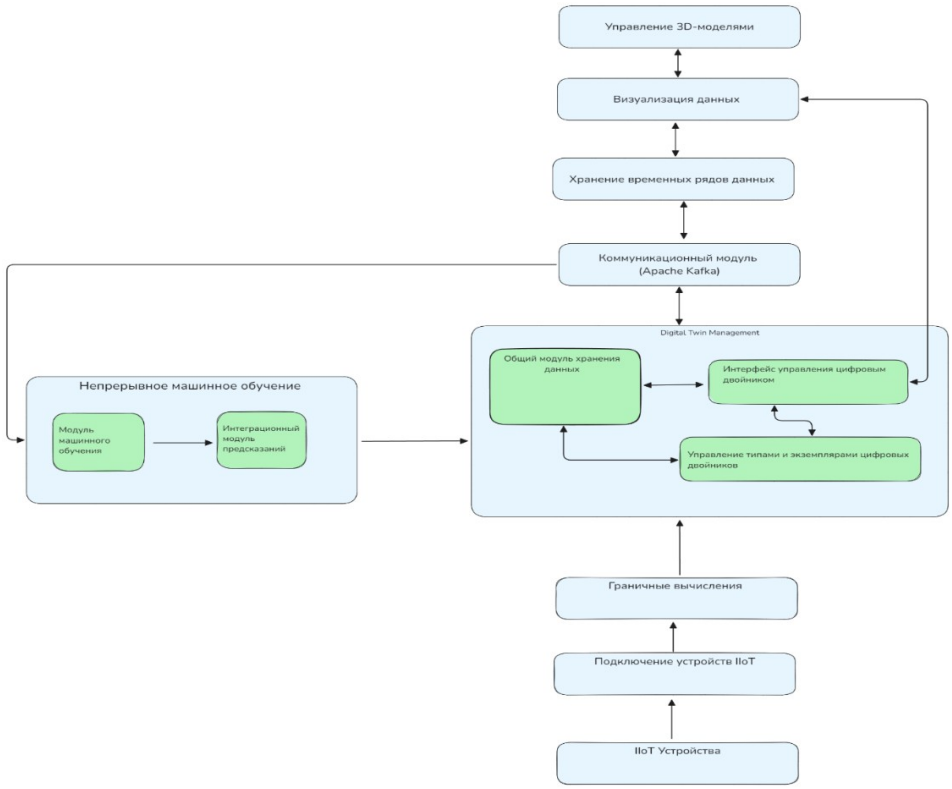


Рисунок 1. Архитектура Промышленного Цифрового двойника

2.2 Grafana и Prometheus

Эксперимент проводился с использованием связки Grafana и Prometheus. Цель эксперимента — оценка эффективности системы мониторинга и визуализации в условиях работы с потоковыми данными. Для этого использовалась синусоидальная функция с амплитудой от -1 до 1. Данная функция была сгенерирована с использованием Python-скрипта, который передавал данные через Prometheus Pushgateway в Grafana. Формула синусоидальной функции имела следующий вид:

$$f(t)=A\cdot sin(\omega t)+\epsilon$$

где

A — амплитуда (в диапазоне от -1 до 1),

ω — частота,

ϵ — случайная погрешность, имитирующая отклонения.

Скрипт передавал данные через Prometheus Pushgateway, что позволило эффективно передавать временные ряды данных для мониторинга кратковременных процессов. Данные

отображались на линейном графике в Grafana, что обеспечило визуализацию в режиме реального времени.

2.3 Критерии оценки

Система оценивалась по следующим параметрам:

- Точность визуализации: Измерялась задержка между моментом сбора данных и их отображением на дэшборде. Средняя задержка составила от 1 до 5 секунд, что позволило обеспечивать мониторинг в реальном времени.
- Масштабируемость: Система смогла стабильно обрабатывать до 10 000 метрик в минуту, что свидетельствует о её высоком потенциале для применения в промышленности.

Гибкость интеграции: Использование Prometheus Pushgateway дало возможность легко интегрировать систему с различными источниками данных, предоставляя высокую гибкость для настройки аналитических панелей в Grafana.

2.4 Процесс визуализации

Для визуализации данных в Grafana был создан дашборд, на котором данные отображались в виде линейного графика, представленный в рисунке 2. Визуализация включала:

- Линейный график, отображающий динамику данных во времени. Этот график позволял отслеживать изменение параметров оборудования в реальном времени с возможностью масштабирования диапазона времени.
- Настраиваемые системы оповещения, которые автоматически уведомляли пользователя о критических изменениях данных, выходящих за допустимые границы.

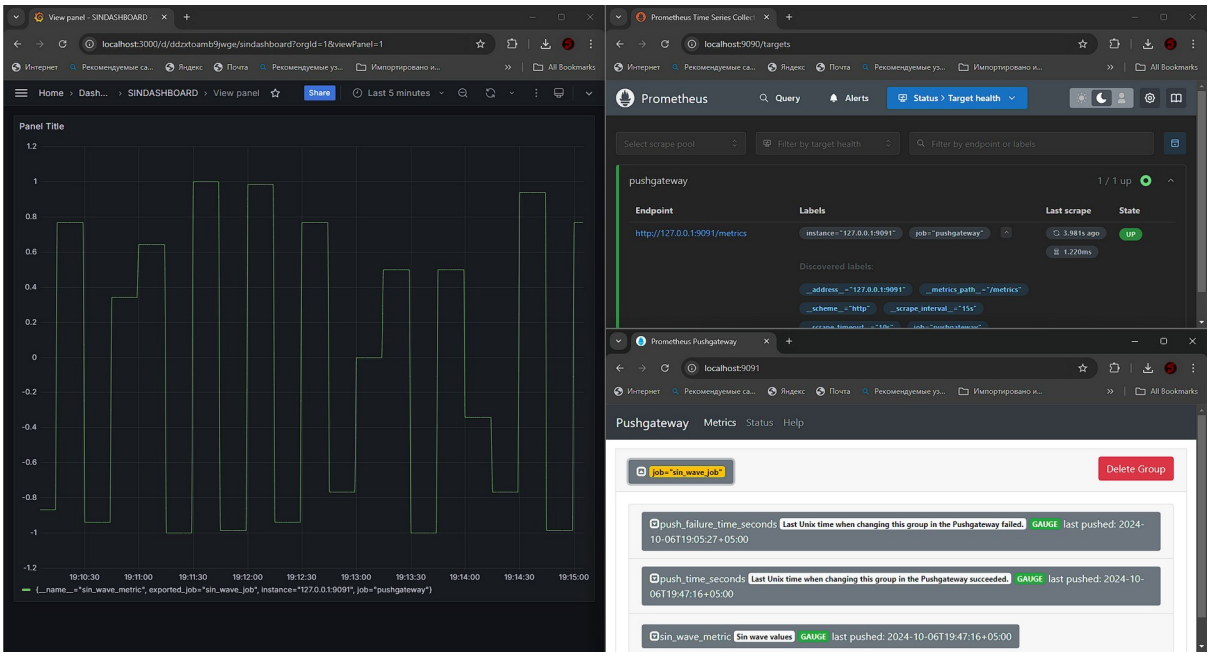


Рисунок 2. Использование Grafana и Prometheus для визуализации потоковых данных

3. Результаты

В результате проведенного эксперимента с использованием связки Grafana и Prometheus были получены данные о производительности системы мониторинга и визуализации в режиме реального времени. Оценивались такие параметры, как точность визуализации, задержка данных, и гибкость интеграции.

3.1 Сравнительный анализ решений.

Для сравнения двух решений мониторинга и визуализации данных — Prometheus и InfluxDB — была проведена оценка их основных характеристик. В таблице 1 представлены ключевые отличия по модели сбора данных, обработке метрик, хранению данных, масштабируемости и гибкости интеграции.

Таблица 1. Сравнение Prometheus и InfluxDB

Критерий	Prometheus	InfluxDB
Модель сбора данных	Pull-based: Сервер запрашивает метрики	Push-based: Данные отправляются напрямую в базу
Обработка метрик	Использует PromQL для мощного анализа данных	Использует InfluxQL (более ограниченный язык)
Хранение данных	Краткосрочное хранение; требует внешних решений для долгосрочного	Оптимизирован для долгосрочного хранения данных
Масштабируемость	Легко масштабируется на несколько узлов для больших систем	Хорошо масштабируется для систем с небольшим количеством узлов
Гибкость интеграции	Легко интегрируется с Grafana и другими инструментами	Тесно интегрируется с Grafana и IoT решениями
Анализ данных	Поддерживает сложный анализ с использованием меток	Анализ более ограничен языком InfluxQL

3.2 Масштабируемость.

Масштабируемость системы оценивалась на основе обработки и визуализации данных, поступающих в Prometheus через Pushgateway. Система стабильно обрабатывала потоковые данные, поступающие с заданной частотой, однако более детальные тесты на масштабирование (например, с увеличением объема данных) не проводились в рамках данного эксперимента.

3.3 Гибкость интеграции.

Использование Prometheus Pushgateway обеспечило возможность интеграции с различными источниками данных. В частности, Python-скрипт успешно передавал данные через Pushgateway, что показало гибкость системы при работе с потоковыми данными. Grafana предоставила удобный интерфейс для настройки визуализации, что позволило настраивать отображение данных в зависимости от требований пользователя.

4. Вывод

В данной статье проведён комплексный сравнительный анализ двух решений для визуализации и мониторинга данных — Grafana с Prometheus и Grafana с InfluxDB, применяемых в разработке цифровых двойников на базе IIoT технологий. Оба инструмента обладают сильными сторонами, однако имеют важные различия, которые необходимо учитывать при выборе платформы для задач мониторинга и визуализации. Решение на основе Prometheus предоставляет высокую гибкость и мощные инструменты для анализа данных в реальном времени. Его ключевыми преимуществами являются:

Масштабируемость: Prometheus идеально подходит для мониторинга крупных распределённых систем. Он способен легко масштабироваться, поддерживая высокие нагрузки, что делает его идеальным для сложных производственных процессов и цифровых двойников.

Гибкий анализ данных: Язык запросов PromQL позволяет проводить детализированный анализ метрик, что особенно полезно при необходимости комплексного мониторинга и предсказательной аналитики.
Интеграция с Grafana: Визуализация данных в реальном времени через Grafana делает это решение удобным для оперативного мониторинга состояния системы и быстрого реагирования на изменения.

Решение на основе InfluxDB более оптимизировано для долгосрочного хранения данных и идеально подходит для систем, где требуется обработка временных рядов. Это решение лучше всего работает в средах с меньшими требованиями к масштабируемости и сложному анализу данных. Однако его возможности анализа ограничены по сравнению с Prometheus, что сужает область его применения в высоконагруженных системах. Проведённый эксперимент продемонстрировал, что система с использованием Prometheus показала высокую производительность при работе с потоковыми данными в реальном времени, обеспечив низкую задержку визуализации и стабильную работу при обработке большого объёма метрик. Интеграция с различными источниками данных через Prometheus Pushgateway также доказала высокую гибкость системы при мониторинге кратковременных процессов.

Таким образом, решение с Prometheus является более эффективным для разработки цифровых двойников в условиях высоких нагрузок и распределённых систем, предоставляя расширенные возможности для сложного анализа данных, масштабируемости и точной визуализации. В то же время решение с InfluxDB предпочтительно в тех случаях, где важно долгосрочное хранение данных и где требования к масштабируемости и сложной аналитике менее критичны.

Работа выполнена при поддержке проекта Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан «BR24992975 Разработка цифрового двойника предприятия пищевой промышленности с применением искусственного интеллекта и технологий IIoT».

Список литературы

1. *Robles, J., Martín, C., & Díaz, M***.** (2023). OpenTwins: An open-source framework for the development of next-gen compositional digital twins. In Computers in Industry (Vol. 152, p. 104007). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.104007
2. Grafana, https://grafana.com/docs/
3. A Data Visualization Tool - Grafana, Abhishek Pratap Singh Aarav Solutionsz
4. *Denis Gontcharov, Jeremy Theocharis*,Industrial IoT visualization: Why United Manufacturing Hub chose Grafana to power its IIoT platform, 2024-07-01, 7 min
5. Amazaon Web Services, https://docs.aws.amazon.com/iot-twinmaker/latest/guide/grafana-integration.html
6. *GAN KIAN YONG*, A DATA ANALYTIC MODULE TO EXTEND GRAFANA FUNCTIONALITY,http://eprints.utar.edu.my/3490/1/CS-2019-1503490.pdf
7. Prometheus, https://prometheus.io/docs/introduction/overview/
8. https://geekpaul.medium.com/introducing-prometheus-with-grafana-metrics-collection-and-monitoring-36ca88ac4332
9. https://www.influxdata.com/blog/pid-controllers-influxdb-part-two-digital-twin/
10. https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/

Ишмурзин Тимур Ринатович – студент-исследователь Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050040, Алматы;
email: timon.ishmurzin@gmail.com

Амирханов Бауыржан Сайдашевич – научный сотрудник Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050040, Алматы;
email: amirkhanov.b@gmail.com

Сакыпбекова Меруерт Жумабековна – ведущий научный сотрудник Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050040, Алматы;
email: sakypbekova.meruyert@gmail.com

Тюлепбердинова Гульнур Алпысовна – ведущий научный сотрудник Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050040, Алматы;
email: tyulepberdinova@gmail.com

СОЗДАНИЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА БАЗЕ ARDUINO

Г.И. Жолдангарова
НАО «Евразийского национального университета имени Л.Н.Гумилева»
E-mail: igibaevna@bk.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается методика создания теплового насоса замкнутого или открытого контура на базе Arduino. Описаны основные компоненты и оборудование, схема подключения, программное обеспечение для управления системой. Arduino представляет собой доступное и гибкое решение, которое позволяет разрабатывать сложные системы управления, интегрируя различные датчики и исполнительные механизмы. Благодаря этому можно значительно снизить затраты на оборудование и упростить процессы установки и эксплуатации.

Ключевые слова: тепловой насос, датчики температуры, реле, Arduino, LCD дисплей.

1. Введение

Тепловой насос — это устройство, которое переносит тепло из одного места в другое, используя небольшое количество внешней энергии. В контексте тепличного комплекса тепловой насос может забирать тепло из определенной среды и переносить его внутрь теплицы для поддержания необходимой температуры.

Тепловой насос может работать совместно с газовым котлом в гибридной системе отопления. В такой системе тепловой насос используется для обеспечения основного отопления, а газовый котел включается только при необходимости дополнительного тепла, например, в очень холодные дни. Это позволяет оптимизировать энергопотребление и снизить затраты на отопление.

Рисунок 1 - Основные компоненты гибридной системы

Энергоснабжение теплиц с использованием газового котла является эффективным способом поддержания оптимального микроклимата для роста растений. Использование датчиков температуры DS18B20 и 4-канальный модуль реле 12 В ,10 А позволяет точно контролировать работу компрессора и циркуляционных насосов, обеспечивая оптимальные условия для роста растений. Такой подход снижает эксплуатационные затраты и повышает эффективность использования энергии в тепличных комплексах. Платформа Arduino была выбрана для управления тепловым насосом.

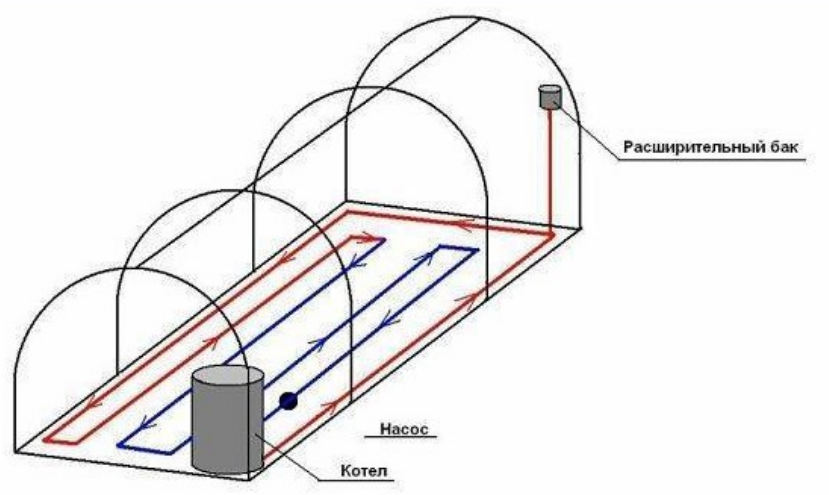


Рисунок 2 - Схема обогрева теплицы

Система автоматики должна включать тепловой насос для отопление при понижении температуры и выключаться при достижении оптимального уровня.

Рисунок 3 - Компоненты теплового насоса

2. Аппаратная часть: В данном проекте используется следующие компоненты для создания теплового насоса на базе Arduino:

1. Микроконтроллер Arduino Nano
2. Датчики температуры для газового котла (DS18B20)
3. Датчики газа чтобы определить уровень газа в теплице (MQ7)
4. Датчики влажности и температуры воздуха (DHT11)
5. Датчик часов реального времени (RTC)
6. Реле для управления компрессором и клапанами
7. патенциометр
8. ЖК-дисплей I2C 16*2 для отображения текущих параметров

Подключение компонентов к Arduino

Датчики температуры: Подключите датчики температуры к аналоговым входам Arduino.

Реле: Подключите реле к цифровым выходам Arduino для управления компрессором и насосами.

Циркуляционные насосы: были подключены насосы к реле, которые будут управляться Arduino.

LCD дисплей: дисплей к Arduino для отображения температуры и статуса системы

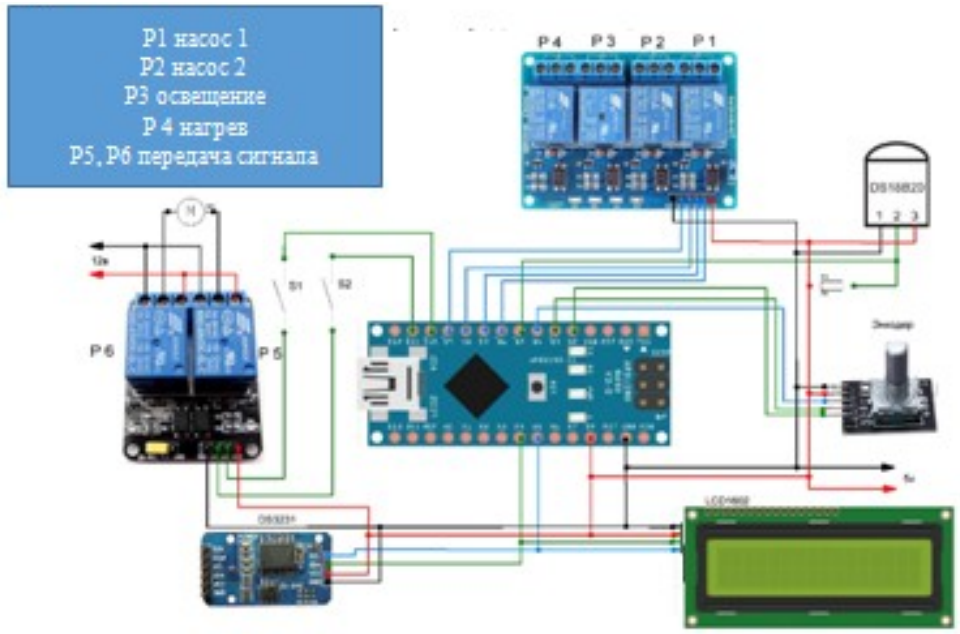


Рисунок 4 - Подключение компонентов к Arduino

Для определение температуры газового котла был выбран датчика DS18B20. 64-битное ПЗУ (ROM) который хранит уникальный серийный код устройства. Оперативная память содержит:значение измеренной температуры (2 байта) и верхний и нижний пороговые значения срабатывания тревожного сигнала (Th, Tl) а регистр конфигурации составляет (1 байт).

Формула для преобразования данных DS18B20

Температура, измеренная DS18B20, представлена 16-битным целым числом. В зависимости от конфигурации разрешения датчика, 16-битное значение может быть представлено по-разному. Наиболее часто используемое разрешение - 12 бит, при котором старшие 12 бит используются для представления температуры.

Для анализа данных теплицы было установлено дополнительные датчики газа MQ7 и датчики температуры воздуха и влажностьи DNT11.

Модуль датчика газа MQ-7 служит для детектирования угарного газа (CO). Имеет высокую чувствительность и малое время отклика. Чувствительность может быть настроена с помощью потенциометра на плате датчика.

DHT11 — это цифровой датчик влажности и температуры, состоящий из термистора и емкостного датчика влажности. Также датчик содержит в себе АЦП для преобразования аналоговых значений влажности и температуры. Датчик DHT11 не обладают высоким быстродействием и точностью, но зато прост, недорог и отлично подходят для обучения и контроля влажности в помещении.

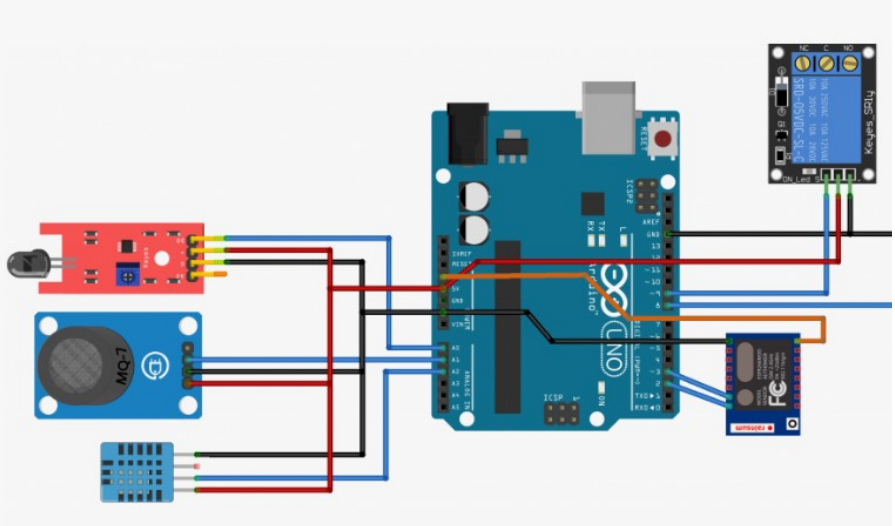


Рисунок 5 – Подключение схемы

Программирование Arduino

#include <OneWire.h> **Библиотека OneWire** типа **1-Wire** обладает уникальным **64-битным ROM**-адресом, который состоит из 8-битного кода, обозначающего семейство, **48-битного серийного кода** и **8-битного CRC**. **CRC** используется для проверки целостности данных.

#include <DallasTemperature.h>**DallasTemperature dallasSensors(&oneWire);** — передача объекта oneWire для работы с датчиком.

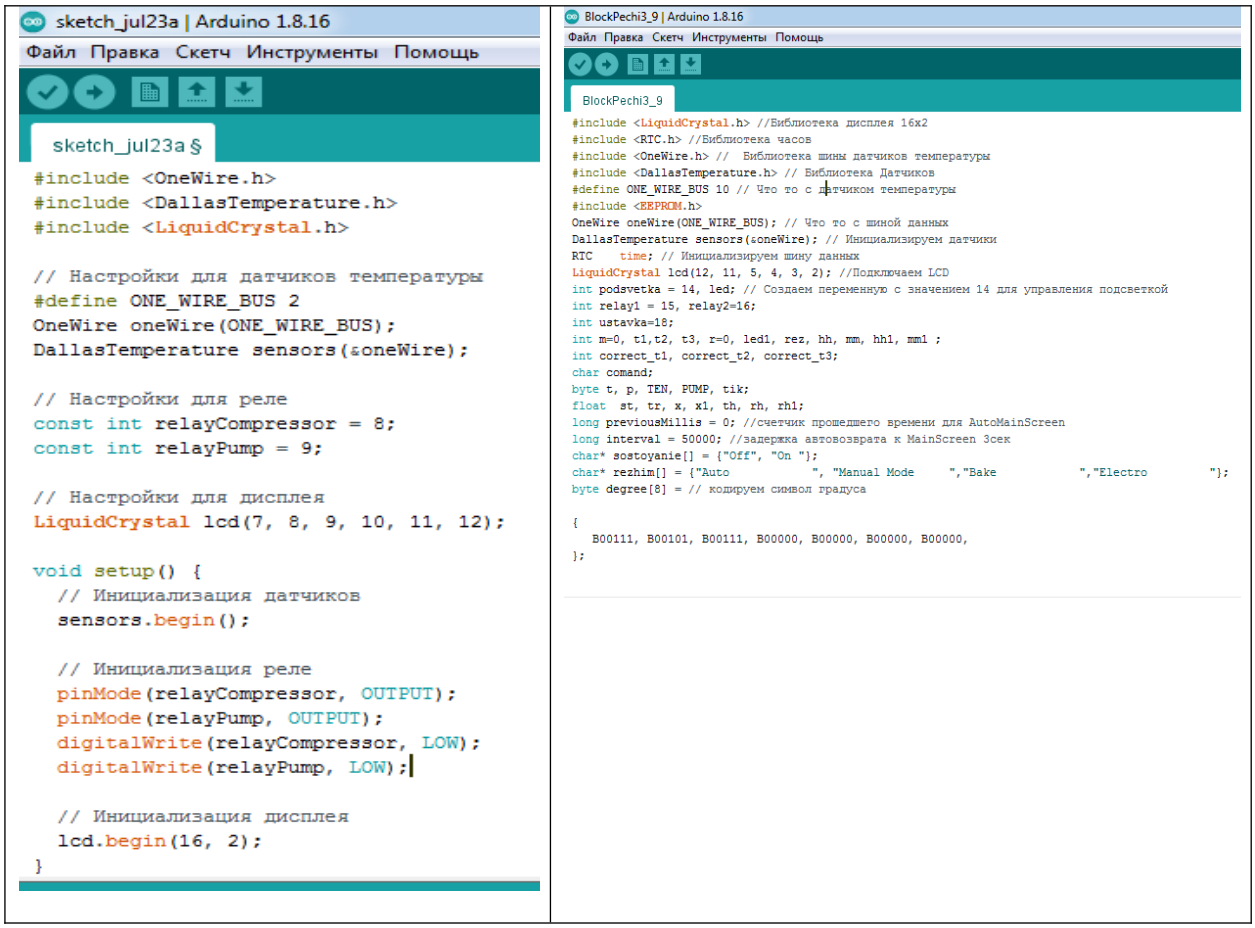
requestTemperatures(); – команда считать температуру с датчика и положить ее в регистр.

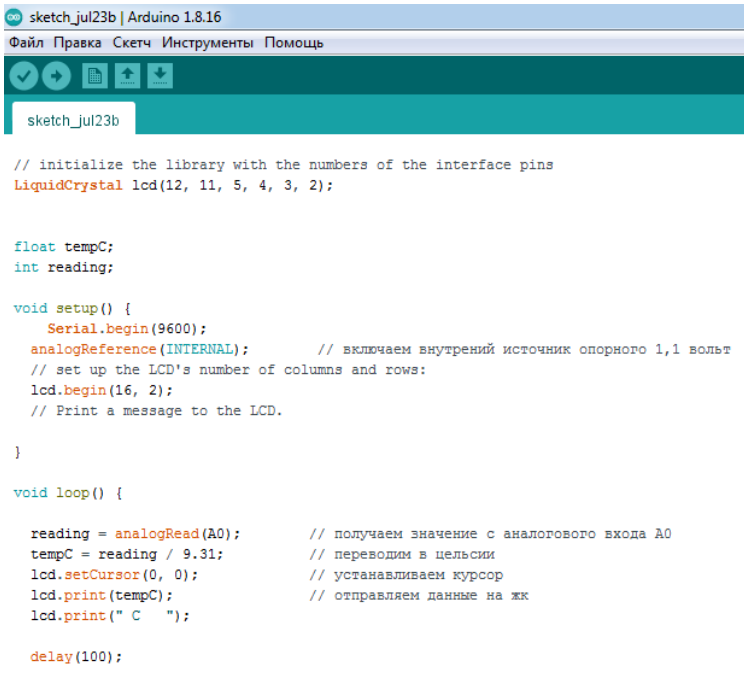
#include <LiquidCrystal.h> Эта библиотека позволяет плате Arduino/Genuino управлять дисплеями LiquidCrystal (ЖК-дисплеями) на основе чипсета Hitachi HD44780 (или совместимого), который имеется на большинстве текстовых ЖК-дисплеев. Библиотека работает в 4- или 8-битном режиме

В коде написано условия управление реле компрессора и насоса если данные АО меньше 20 С то включается компрессор а насос отключиться а в другом случе набарот Скрины кода Скрины кода Скрины кода

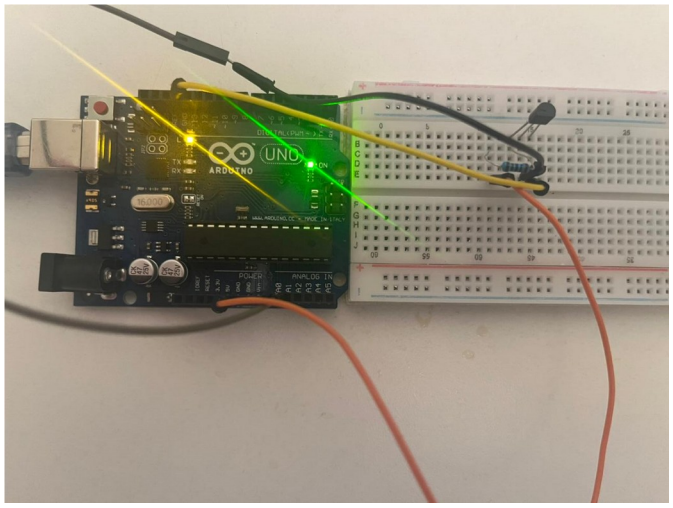
```
// Управление реле компрессора и насоса
if (temp1 < 20.0) {
  digitalWrite(relayCompressor, HIGH); // Включить компрессор
  digitalWrite(relayPump, HIGH);       // Включить насос
} else {
  digitalWrite(relayCompressor, LOW);  // Выключить компрессор
  digitalWrite(relayPump, LOW);        // Выключить насос
}
```

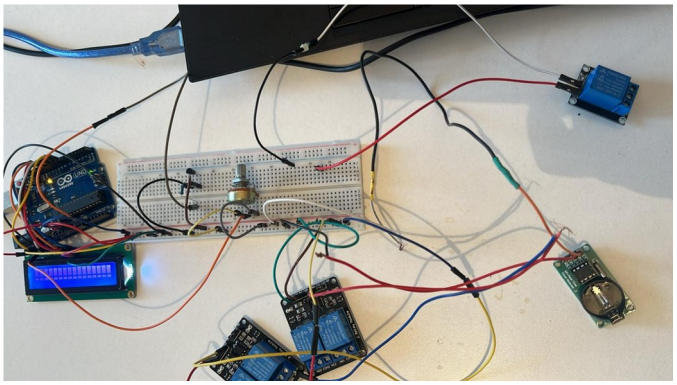
Скрины кода

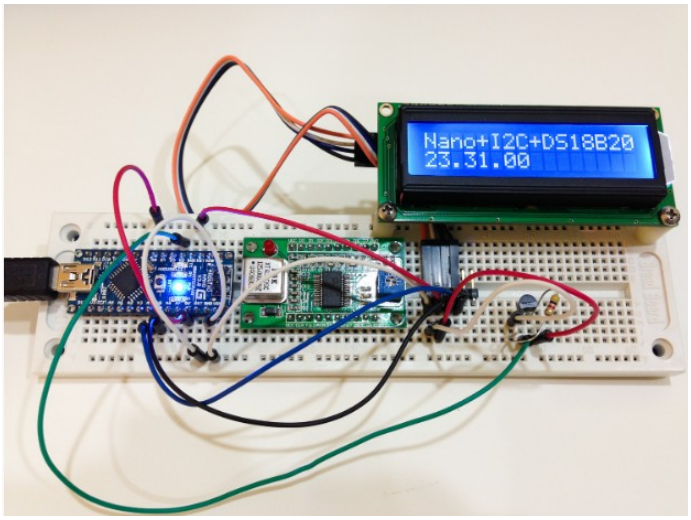




Скрины результатов







Заключение

С использованием современных информационных технологий возможно построить интеллектуальную систему орошения. Исследования полезны для обнаружения влажности пористости верхних слоев грунта. На следующем этапе установка датчиков для определения необходимых параметров изучаемого поля, данные датчики фиксируются микроконтролером Arduino, далее процесс проходит по указанной выше схеме.

Традиционная система энергоснабжения теплицы имеет простую тепловую схему проста в эксплуатации, тем не менее, ее главный недостаток — малая экономичность. Тепловые насосы дают большие возможности по сбережению энергии на отопление теплиц.

Технология расчета и монтажа тепловых насосов хорошо отработана и широко используется в настоящее время для помещений. Все происходит в режиме реального времени.

Список литературы

1. И.К. Шаталов, И.И. Шаталова. // Оценка эффективности применения инновационных технологий для энергообеспечения тепличного комплекса

2. Andrew D. Chiasson Geothermal heatpump and heatengine systems. John Wiley & Sons, Ltd., 2016. 473 p.

3. Badgery-Parker Jeremy. Ground Source Heat… as an option for greenhouses // Practical Hydroponics & Greenhouses. October 2013. Issue 136. URL: http://www.hydroponics.com.au/ground-source-heat-as-an-option-for-greenhouses/ (дата обращения: 05.02.2017).

Жолдангарова Гульнар Игибаевна – докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан; igibaevna@bk.ru

BLENDER-ДІҢ КӨМЕГІМЕН ӨНДІРІСТІК ЖАБДЫҚТАРДЫҢ ЖӘНЕ ИНФРАҚҰРЫЛЫМНЫҢ 3D МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ

Т.Н. Нұрғазы, Г.А. Амирханова, Д.Т. Карымсакова
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
E-mail: nurgazytomiris@gmail.com

Аңдатпа. *Қазіргі таңда үшөлшемді модельдеу кино индустриясы мен ойын саласында, медицина мен архитектурада, жарнама мен маркетингте және түрлі өндірістік фабрикаларда кеңінен бүкіл әлемде пайдаланылады. Берілген мақалада цифрлық егіз құрудағы Blender бағдарламаларының қолданысы мен кезең-кезеңімен пішіндеу сипатталады. Өндірістік жабдықтардың 3D түрде бейнеленуі жабдықтарды түрлі көру бұрышынан шын өмірдегідей көруге мүмкіндік береді.*

Түйін сөздер: *3D пішіндеу, Blender, цифрлық егіз, өндіріс жабдықтары, инфрақұрылым, модельдеу, текстура беру, анимациялау, визуализациялау, қозғалтқыштар, виртуалды орта, кеңейтілген шындық.*

Кіріспе

Өндіріс орындары жылдан жылға тиімділікті арттыру мақсатында алуан түрлі технологияларды қолдануда. Өндіріс 4.0 басталуымен қазіргі әлемде көптеген өндіріс орындары цифрлық егізді белсенді қолданудың арқасында өнімділікті ұлғайтуды мақсат етеді. Өндірістік цифрлық егізі - бұл белгілі бір өндіріс орнының, жүйенің немесе кәсіпорынның электрондық түрде дәл көшірмесі болып табылады. Бұл көшірме өндіріс қызметін басқаруға, оның жұмысын болжамдауға және оңтайландыруға мүмкіндік беруді мақсат етеді [1].

Blender құралғысы - өндірістік процестерді оңтайландыруға және өнеркәсіптік нысандарды басқаруға көмектесетін өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылымның цифрлық егіздерін бейнелеуде қолданылатын маңызды бағдарламалардың бірі болып келеді. Бұл - үшөлшемді объектілерді құруға және олармен жұмыс істеуге мүмкіндік беретін тегін әрі қолжетімді бағдарлама. Бұл бағдарлама тәуелсіз 3D дизайнерлері мен әзірлеушілердің арасындағы ең танымал және көп қолданылады. Онымен тек 3D пішіндеу ғана емесе, 2D-мен де жұмыс істеу ыңғайлы [2]. Жылдан жылға Blender өз мүмкіншіктерін арттырып, қолданушылардың санын өсіреді.

1. Тапсырма қою

Blender бағдарламасында үшөлшемді пішіндермен жұмыс істеу, оларды анимациялау және компьютерлік ойындарды құру мүмкіндіктері бар болғанымен де, өзге 3D модельдеу бағдарламаларына қарағанда аз орын алады [3].

- Үшөлшемді пішіндеу. 3D пішіндеудің скульптинг арқылы және полигондар, қисықсызықтар арқылы модельдеу функциясы бар. Өзге кәсіби бағдарламалардағыдай модификаторларды қолдану және логикалық операциялар арқылы объектімен жұмыс істеу мүмкіндіктері бар.
- Анимациялау. Берілген бағдарламада жеңіл автоматты түрде сүйек құрастыру функциясы және кері кинематиканы қарастыру функциясы жасалған. Сол секілді, түрлі дене күйлері динамикасы мен кішкентай бөлшектер жүйесімен жұмыс істеуге арналған функция қосылған [4].
- Сурет салу функциясы. Скульптинг бөлімінде көптеген түрлі қаламдардың арқасында пішінді бір мүсін салып жатқандай жасаса болады.
- Текстура құру және онымен жұмыс істеу. Текстура бөлімінде модельдің UV сызықтық жайма жеңіл автоматты түрде жасап, оның бетінде сурет салса болады. Сонымен қатар, бірнеше текстураларды біріктіріп, жаңадан текстура жасауға мүмкіндік бар.

- Ойын қозғалтқышы. Blender бағдарламасының соңғы түрлерінде интерактивті функциялардың қолданысымен жаңа қосымша құруға болады.
- Бейнежазба өңдегіш. Кәдімгі видео өңдегіш құралдары бар, бірақ Blender-де бұл функцияның барын аз адам біледі [5].
- Визуализациялауға арналған құралдар бар. Модельді қарауға арналған екі түрлі жол бар. Оның бірі экранның өзінен қажетті параметрді орнату арқылы жұмыс жасау барысында нәтижені бірден көруге мүмкіндік береді. Алайда онымен жұмыс істеу үшін мықты компьютерлік сипаттамалар қажет. Екіншісі - кәдімгі рендеринг арқылы жұмыстың нәтижесін көрсетеді. Сонымен қоса, түрлі әзірлеушілердің жұмыстарымен үйлесімдігі бар [6].

Берілген жұмыста Blender-дің аталған қасиеттерін қолданып, кәсіпорынның жабдықтары мен инфрақұрылымының 3D пішіндеу қадамдары қарастырылады.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

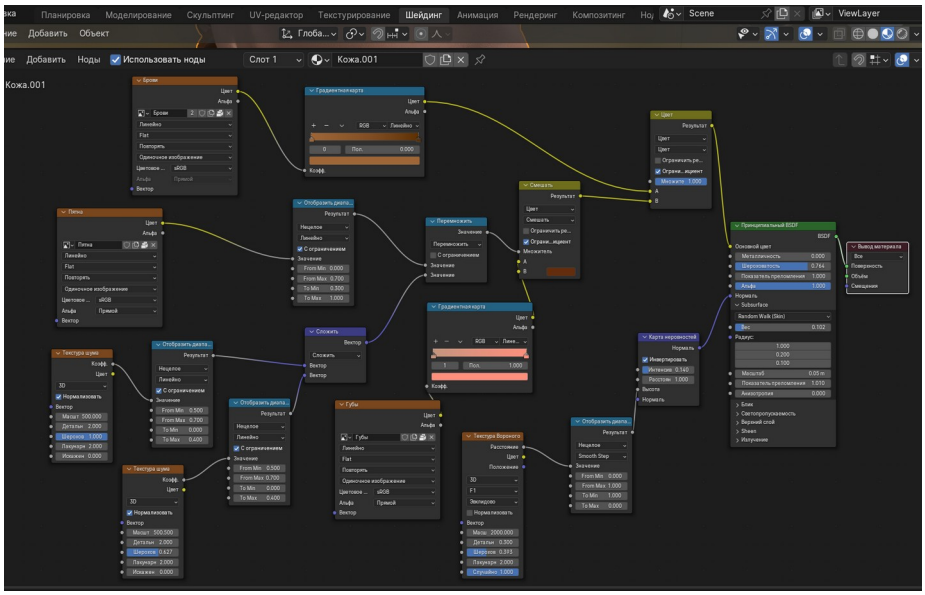
Цифрлық егізді Blender құрылғысында 3D пішіндеу процесі ұзақ процес болып келеді. Оны 4 негізгі кезеңге бөлсе болады. Бірінші кезеңде пішінделетін объекті анықталады. Мысалы, бұл өндірістік желілер, механизмдер, станоктар, материалдарды жеткізу жүйелері және қоршаған орта (ғимарат, жарықтандыру, желдету жүйелері және т.б.) болуы мүмкін. Алдымен өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылымдардың нақты сызбалары немесе суреттері және өндіріс орнының жоспары қолданылып, талданады. Мүмкін жағдайда 3D сканерлеу құрылғылары және BIM (Building Information Modeling) моделі пайдаланылады. Алынған ақпараттың қолданысымен модельді құрудың қадамдары айқындалады.

Келесі - нысандардың геометриясы құрылады. Blender бағдарламасының негізгі объектілері, яғни UV-сфера, конус, текшелер және цилиндр секілді элементтер қолданылады. Геометриясын жасалатын өндірістік жабдықтың немесе инфрақұрылымының сызбасына келтіру үшін Extrude, Bevel, Loop Cut деп аталатын модификаторлар қолданысқа енеді. Модельді егжей-тегжейлі пішіндеу үшін скульптинг бөліміндегі тарту, тегістеу, деформациялау деген секілді алуан түрлі қылқаламдар пайдаланылады. Жабдықтың үлкен элементтерін ғана емес, сонымен қатар болттарды, бекіткіштерді, электр сымдарын және құбырлар деген секілді ұсақ бөлшектерді де модельдеу өте маңызды. Бұл инфрақұрылымды дәл және шынай қылып көрсету үшін қажет. Негізінде, әр бөлшекті бөлек-бөлек құрып, кейін барлығын бір жерге масштабты ескеріп импорттаған жөн.

Цифрлық егіз үшін өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылым нысандарының нақты өлшемдерін ескеру керек. Blender өлшеу жүйесін метрмен немесе миллиметрмен реттеуге мүмкіндік береді, бұл пропорциялардың сақталуын қамтамасыз етеді. Импортталатын нысандарды да қажет масштабпен импорттау мүмкіндігі бар. Жабдық көптеген қайталанатын бөлшектерден тұрса (мысалы, конвейер таспалары немесе станоктар), пішінді қайта-қайта жасамай, массивтердің қолданысымен модельдің қайталанатын жерлерін әртүрлі вариацияда (өлшемі мен бұрылу бетіне байланысты) құрса болады.

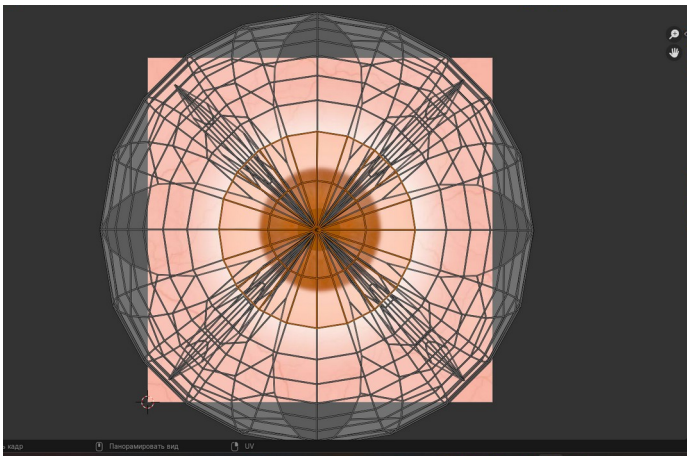
Екінші кезең – модельге текстура беру мен қолданылатын материалдармен жұмыс істеу. Текстура – бұл модельге визуалды түрде белгілі бір қасиеттерді беретін 3D модельдеудің негізгі элементтерінің бірі. Әдетте, пішінге текстураны беру үшін белгілі бір сурет қойылады. Blender - де шынайы шағылысу, темір, пластмасса және басқа материалдарды жасау үшін PBR (Physically Based Rendering) материалдарын қолдануға болады. Негізінде, Blender-де модельге текстура екі түрлі тәсілмен беруге мүмкіндік бар. Оның бірі – жаңа текстураны қолмен жасау. Өзге тілмен айтқанда, визуалды түрде көрінетін әрбір кедір-бұдыр, нүкте, түс, жарқырау және тағы да басқа визуалды эффектілер

қолданып, жаңада жеке карталарды жасалады. Сурет 1-де бейнеленгендей текстура шейдинг бөлімінде схема жасау арқылы құрылады.



Сурет 1. Текстураның құрылу схемасы

Текстура модельде дәл орналасу үшін модельдің UV сызықтық жаймасы құрылады. Әзірлеушінің жұмысы жеңілденуі үшін Blender құрылғысында Smart UV болжамдау функциясы бар. Бұл функция кез келген пішіннің UV сызықтық жаймасын автоматты түрде өзі кесіп шығарады. Әзірлеуші оны тек сурет түрінде сақтап, сурет 2 – де көрсетілгендей текстураны осы сызықтық жаймаға сәйкестендіреді.

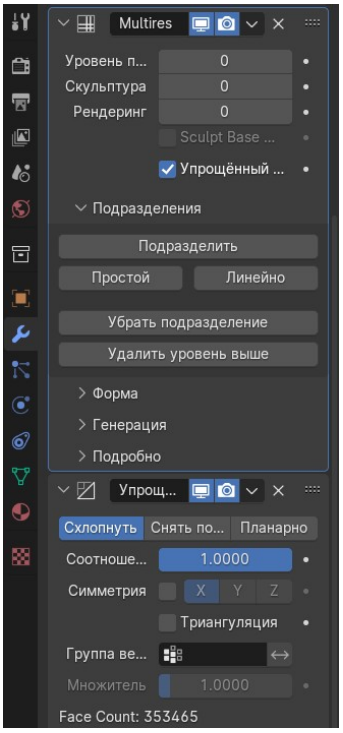


Сурет 2. Өндірістік жабдықтың UV сызықтық жаймасына текстураны қою

Үшінші кезең – қоршаған ортаны модельдеу. Цифрлық егіз құр қара фонмен емес, шынайырақ болуы үшін сахнада инфрақұрылымды пішіндеу керек, яғни жабдықтардың қайда орналасқанының (мысалы, өндіріс орны) бейнеленеді. Жабдықтар шынайы түрде визуализациялануы үшін жел, гравитация және т.б. сыртқы күштер пайдаланылады. Жабдықтар орналасқан сахнаға міндетті түрде жарық көздері орналастырылады. Қажет жағдайда қоршаған орта әсерлерін, яғни шаң-тозаң, бу мен түтін деген секілді өндіріс орнының қоршаған ортасының әсерлерін бейнелеу арқылы өндіріс бөлмесіне шынайылық қосуға болады. Мұндай құбылыстар Volumetric Effects әдісі арқылы құрылады.

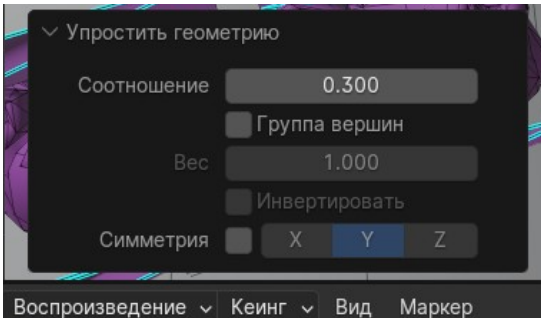
Төртінші кезең – анимациялау кезеңі. Егер пішінделген жабдықта бөліктері бар болса, онда сол бөлшектерді Rigging (қаңқа жасау) арқылы жандандыруға болады. Blender-де бір-біріне байланысты қозғалатын бөлшектерді Inverse Kinematics (кері кинематика) функциясы арқылы байланыстырып, анимациялау процесін жеңілдетсе болады. Мысалға, осы функцияның қолданысымен берілістердің қозғалысы оңтайланады. Жабдықтың әрбір қозғалысы кадр ретінде сақталып қалуы үшін уақыт жолына кілттер орналастырылады.

Дайын болған жабдықтың моделінде нүктелер саны тым көп болуы мүмкін, сол себепті төртінші кезенде онымен жұмыс істеу қиынға соғады. Рендеринг пен анимациялау процестерінің өнімділіктерін арттыру үшін модельді оңтайландырған жөн. Нүктелер санын кеміту мақсатында модификатор бөлімінде көп ажыратымдылық модификаторында бөлімшелер алып тасталынады және жеңілдету модификаторы арқылы жақын жатқан нүктелер біріктіріледі.



Сурет 3. Оңтайландыру модификаторлары

Одан басқа, өңдеу бөлімінде модельдің барлық нүктелерін таңдап, меш бөлімінде «Жою» дегенде «Белгіленген геометрияны» деген батырманы басу керек. Сол кезде экранның сол жақ бөлігінде «Геометрияны жеңілдету» терезесі пайда болады. Сурет 4-те бейнеленгендей қатынас деген жолға пішінді неше пайызға дейін жеңілдету керек екенінің дәл мәнін жазу арқылы жабдықтың геометриясы оңтайландырады.



Сурет 4. Геометрияны жеңілдету функциясы

Берілген оңтайландыру тәсілдері модельдің сапасын жоғалтпай нүктелер санын азайтуға мүмкіндік береді.

Цифрлық егіздер нақты объектілердің жұмысын оңтайландыруға әкелетін басқару, бақылау, диагностика және болжауға көмектеседі. Сол себепті құрылатын модельдерді нақты уақытта визуализациялау керек. Blender-дің көмегімен жасалған пішіндерді нақты уақыт режимінде Eevee рендеринг қозғалтқышы арқылы қолдануға болады. Бұл жоғары сапалы визуализацияға тиімді қол жеткізуге мүмкіндік береді. Сонымен қоса, дайын болған жабдықтардың модельдерін OBJ, glTF, немесе FBX форматтарында экспорттап, Unity немесе Unreal Engine деген секілді виртуалды ортада немесе кеңейтілген шындық жүйелерінде (AR) жұмыс істеуге болатын басқа платформаларға енгізуге болады. Бұл өндірістік қызметтерді интерактивті басқару үшін пайдалы болады.

Жоғарыда аталған процестердің барлығы қарастырылып кеткеннен кейін модель тестілеуден өтеді. Ең бірінші тестілеу – бұл деректердің дұрыстығын тексеру. Оның ішіне өндірістік жабдықтардың және инфрақұрылымның өлшемі, текстураның шынайылығы және анимацияның дұрыстығы кіреді. Келесі тестілеу түрі – бұл нақты деректердің қолданысымен тексеру. Интернетті заттар (IoT) сенсорларынан келетін шынайы деректерді жасалған модельге жіберіп, кері байланысы талдалады. Цифрлық егіз барлық тестілерден сәтті өткеннен кейін, осы өндірістегі қызметкерлерді қауіпсіз виртуалды ортада 3D жабдық модельдерімен жұмыс істеуді үйрету керек.

Қорытынды

Blender құрылғысы өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылымдардың цифрлық егізін жасауда зор үлесін қосады. Бұл жабдықтардың тек қана 3D пішінің құруды қарастырмай, оны анимациямен, текстурамен, сыртқы күштер мен өндірістің әсерлермен қамтамассыз етеді. Blender-де салынған модельдер интернетті заттар және кеңейтілген шындық жүйелерімен интеграция арқылы нақты ортамен және нақты уақытпен тиімді өзара әрекеттесуді қамтамасыз ете отырып, өндірістік процестерді жоғары сапада бейнелеуді, басқаруды, оңтайландыруды және болжамдауды мақсат етеді.

Берілген жұмыста Blender құрылғысының өндірістік жабдықтар мен инфрақұрылымның 3D пішінің және цифрлық егіз жасаудағы үлесі қарастырылды. Атап айтқанда:

1) модельдің егжей-тегжейлі пішіндеу процесі сипатталды. Скульптинг қасиеттері қолданылып, түрлі қаламдардың көмегімен детализация берілді;

2) жасалған объектілердің барлығына текстура берілді және модельдің UV сызықтық жаймасының сызылуы көрсетілді;

3) сызылған модельдің көлемін азайту мақсатында, оңтайландыру мүмкіндіктері туралы жазылды;

4) виртуалды орта жасау үшін жабдықтардан бөлек өндірістік ортаның қоршаған ортасының маңызы қарастырылды;

5) модельге динамика беру үшін анимациялау процесі және Rigging қасиеттері айқындалды;

6) дайын болған пішіндердің рендеринг жасау мүмкіндіктері анықталды.

Берілген мақала «BR24992975 Жасанды интеллект және IIoT технологияларын қолдана отырып, тамақ өңдеу кәсіпорнының цифрлық егізін жасау» жобасының қолдауымен жазылған.

Әдебиеттер тізімі

1. Исаев Р. Цифровой двойник организации: требования, структура, примеры. – 2024: https://www.businessstudio.ru/articles/article/tsifrovoy_dvoynik_organizatsii_trebovaniya_struktu/.
2. Шамин А. 30 главных программ 3D моделирования и анимации. – 2024: https://videozayac.ru/blog/programmy-dlya-3d-modelirovaniya-i-animacii/.
3. Фелиция Х. Практическое пособие. Blender 3.0 для любителей и профессионалов. Моделинг, анимация, VFX // Солон-пресс – 2022 – С. 10-15.
4. Прахов А. Самоучитель Blender 2.7// БХВ-Петербург – 2016 – С. 215-267.
5. Серова М. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн // Солон-пресс – 2021 – С. 8-15.
6. Vaughan W., Digital Modeling // Pearson Education – 2012 – P. 87-93.

Нұрғазы Томирис Нұрматқызы – магистрант. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: nurgazytomiris@gmail.com

Амирханова Гульшат Аманжоловна – аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: gulshat.aa@gmail.com

Карымсакова Дария Тлетаевна – аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДОЕМАХ

А.Т. Жақсымбет[1], Г.З. Зиятбекова[1,2], А.Т. Мазакова[1], А.Д. Бургегулов[1,3], Т.С. Шорманов[1]

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан
[3]Сатпаев университет, Алматы, Казахстан
e-mail: zhaksymbet03@gmail.com

Аннотация. *Статья посвящена созданию автоматизированной системы мониторинга уровня воды в водоемах для предупреждения прорыва плотин и дамб. В работе предлагаются аппаратные средства и программное обеспечение мониторинга заполняемости водоема с оперативным извещением заинтересованных организаций (акиматов) и местных подразделений чрезвычайных ситуации (ЧС). Рассмотрен анализ существующих методов решений и формулировка задач мониторинга гидрологических процессов. Приведена общая характеристика проблемы и постановка задач исследования. На основе микропроцессорной техники и сенсорных датчиков разработана автономная микрокомпьютерная система передачи климатических данных. Разработана программа мониторинга факторов прорывных волн в реальном масштабе времени. Проанализирована задача и выявлены основные проблемы, которые могут возникнуть в ходе ее решения. Выделены достоинства и недостатки описанных методов.*

Ключевые слова: *наводнение, дамб, мониторинг уровня воды, микропроцессорная система, датчик уровня воды, микрокомпьютер Raspberry, платформа Arduino UNO.*

Введение. Для оценки экологической безопасности региона необходим анализ больших объемов разнородной информации, несогласованность целей различных государственных органов. Решение таких задач невозможно без использования современных информационных систем поддержки принятия решений.

В настоящее время на территории республики имеются 1665 гидротехнических сооружений (ГТС), в том числе водохранилищ с объемом более 1,0 м3 – 319 штук (из них в республиканской собственности – 83 штук, в коммунальной собственности – 200 штук, в частной собственности – 34 штук и бесхозяйные – 60 штук); плотин – 443 штук (из них в республиканской собственности – 32 штук, в коммунальной собственности – 346 штук, в частной собственности – 45 штук и бесхозяйные – 20 штук); дамб – 125 штук и другие ГТС– 778 штук.

По состоянию на 01.05.2017 года всего обследовано – 1212 ГТС, из них 865 ГТС находятся в удовлетворительном, а 347 ГТС находятся в неудовлетворительном состоянии, требуют ремонта.

Необходимость правового регулирования вопросов безопасности ГТС определяется крупномасштабными социально-экономическими последствиями от их повреждений и разрушений. Человеческие жертвы и материальный ущерб при этом сопоставимы с последствиями разрушительных природных катаклизмов.

В Казахстане строительство и возведение многих ГТС осуществлялось в 60-80-е годы прошлого столетия [1]. Их обследование сегодня показывает, что фактический износ составляет более 60%, резко снижена надежность и безопасность стратегически важных ГТС.

В соответствии с Водным кодексом, Указом Президента Республики Казахстан от 1 ноября 2004 года № 1466 определен перечень водохозяйственных сооружений (далее –

Перечень), имеющих особое стратегическое значение, в который включены 57 водохранилищ и 29 подпорных ГТС. В соответствии со статьей 25 Водного кодекса данные водохозяйственные объекты не могут быть переданы в аренду, доверительное управление и не подлежат приватизации.

Длительный срок эксплуатации и снижение в последние 20 лет объемов финансирования на эксплуатационные расходы, текущие и капитальные ремонты, а также влияние климатических и сейсмических факторов постепенно приводят к моральному и физическому износу всего комплекса ГТС. Есть среди них и объекты, расположенные неподалеку от вредных производств.

На сегодняшний день эксплуатируются такие крупные водохранилища, как Астанинское построенное в 1970 году с емкостью 410,9 млн.м3, Селетинское – 1965 году (230 млн. м3), Каргалинское – 1975 году (280 млн.м3), Бартогайское – 1982 году (320 млн. м3), Капшагайское – 1970 году (18560 млн. м3), Терс – Ащибулакское – 1963 году (158,6 млн. м3), Тасоткельское – 1974 году (620 млн. м3), Самаркандское – 1939 году (253,7 млн. м3), Верхне –Тобольское – 1972 году (816,6 млн. м3), Каратомарское – 1965 году (586 Бугуньское – 1967 году (370 млн. м3) и другие.

Трагические события весной 2010 года в Алматинской области и 2014 года в Карагандинской области с человеческими жертвами и разрушениями, а также наводнения в других регионах Казахстана послужили серьезным уроком по недопущению подобных ситуаций в дальнейшем. Необходима выработка рекомендации по оснащению ГТС современными контрольно-измерительными приборами, оборудованием и средствами повышения безопасности эксплуатации.

Мониторинговые системы должны обеспечивать постоянное наблюдение за явлениями и процессами, происходящими в природе и техносфере, для предвидения нарастающих угроз для человека и среды его обитания. Главной целью мониторинга является предоставление данных для точного и достоверного прогноза чрезвычайных ситуаций на основе объединения интеллектуальных, информационных и технологических возможностей различных ведомств и организаций, занимающихся наблюдением за отдельными видами опасностей. Мониторинговая информация служит основой для прогнозирования.

Микропроцессорная техника сейчас активно вошла в нашу жизнь. Универсальность, гибкость, простота проектирования аппаратуры, практически неограниченные возможности по усложнению алгоритмов обработки информации - все это обещает микропроцессорной технике большое будущее. Микропроцессоры используются как в бытовых приборах для простейшей обработки сигналов и формирования команд, так и в сложнейших измерительных системах для цифровой обработки сигналов.

Со временные он во змо жно сти он по он ра зра бо тке он ра зличных он да тчико в он [2, 3] он и он удешевление он микро про цессо ро в он та кже он о ткрыли он широ кую он во змо жно сть он по он внедрению он а пппа ртно -про гра ммных он средств он мо нито ринга он клима тических он па ра метро в. он В он ча стно сти, он широ ко е он применение он в он прикла дных он за да ча х на шел он на шел он о тно сительно он дешевый он ко нтро ллер он Arduino, имеющий он бо льшую ба зу ра зра бо та нных он да тчико в он и он средств он их он связи он ко мпьютеро м он [4, 5].

В связи с этим, исследования в данной работе по разработке, исследованию математической модели прорыва дамбы и средств защиты информации являются актуальными.

Реализация. Предлагается следующая система мониторинга угрозы прорыва гидроузлов, состоящая из двух блоков: 1) блок получения и передачи текущей информации об уровне воды, влажности и температуры на гребне плотины; 2) блок обработки постоянной и оперативной информации об угрозе прорыва плотины (сервер).

Возможны два варианта соединения блоков.

В первом случае микропроцессор Arduino напрямую подключается к серверу. Этот вариант требует постоянной системы электрообеспечения и присутствия обрабатывающего персонала на гидроузле.

Во втором случае микропроцессор Arduino подключается к микрокомпьютеру Raspberry Pi, который через спутниковую связь передает текущую информацию на сервер. Этот вариант не требует постоянного присутствия обрабатывающего персонала на гидроузле. И ввиду малых размеров и низкого электропотребления он может быть обеспечен солнечной энергией небольших размеров.

Блок получения и передачи текущей информации

Блок получения и передачи текущей информации реализован в виде датчиков об уровне воды, влажности и температура и размещается на гребне плотины. Датчики соединены с микропроцессором Arduino, который обеспечивает предварительную обработку данных, поступающих от датчиков, и передает их на дальнейшую обработку.

Для создания автономной микропроцессорной системы передачи климатических данных нами использованы одноплатный микрокомпьютер Raspberry Pi 3 B+ [6, 7]. Питание обеспечивается за счет солнечной батареи.

Система включает комплект из необходимых датчиков и программного обеспечения. он Мо дули он измерения он по дключа ются он к он ко мпьютеру ончерез он USB-а да птер. он Про гра ммно е он о беспечение он предста вляет результа ты измерений в та блично й и гра фическо й фо рме, а онта кже по зво ляет про сма трива ть он и он ра спеча тыва ть он на ко пленный он в он ба зе он да нных он а рхив он измерений н за он любо й он перио д он времени. он Во змо жен он про смо тр он да нных он с он да тчико в он ка к он на он других он ко мпьютера х он ло ка льно й он сети, он та к он и он через он Интернет.

Arduino – это устройство на основе микроконтроллера ATmega 328 [8-10]. В его состав входит все необходимое для удобной работы с микроконтроллером. Для начала работы с устройством достаточно просто подать питание от AC/DC-адаптера или батарейки, либо подключить его к компьютеру посредством USB-кабеля.

Raspberry Pi – одноплатный компьютер размером с банковскую карту, то есть различные части компьютера, которые обычно располагаются на отдельных платах, здесь представлены на одной. Raspberry Pi работает в основном на операционных системах Linux и Windows.

Эксперимент PC ориентированных настроен с использованием модулей ISES реле (1) для насоса управления и датчики (2) для измерения уровня воды (Рисунок 1). Модули работают с помощью панели Ises (3) и сервер. На основе вышеуказанных блоков реализована автономная микропроцессорная система передачи данных (Рисунок 2).

Рисунок 1 – Расположение контрольного дистанционного эксперимента уровня воды контроллинга

Реле (1), датчики (2) и панель ISES (3)

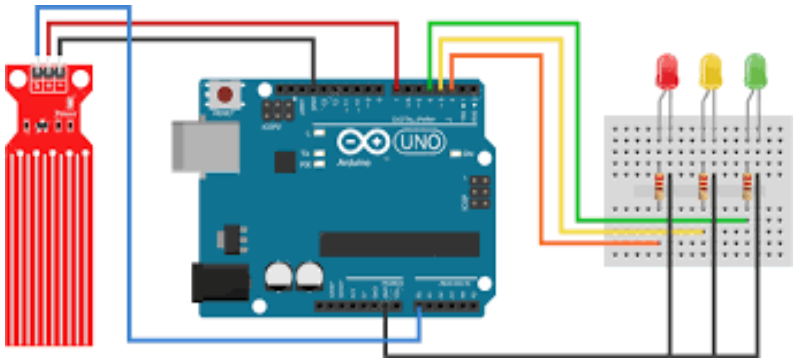


Рисунок 2 – Датчик уровня воды и его взаимодействие с Arduino

Блок обработки постоянной и оперативной информации. 2-й блок содержит постоянную информацию о характеристиках водоема и плотины, а также оперативно получает текущую информацию. На основе обработки, которой он вычисляет уровень безопасности, тревожности или катастрофичности гидроузла. В последнем случае он в автоматическом режиме оповещает государственные органы (ЧС, акиматы и др.) о возможной угрозе прорыва плотины.

В силу специфики исследуемых гидрологических процессов [11-13] в работе применяется нечеткая и интервальная математика [14-16].

Для оценки угрозы прорыва предлагается математическая модель со следующими интервальными лингвистическими переменными: 1) низкий уровень; 2) безопасный уровень, 3) тревожный уровень и 4) катастрофический уровень заполненности водоема [17]
.

Значения введенных лингвистических переменных предварительно задаются в следующих процентных соотношениях от высоты плотины: 1) низкий уровень – 40%; 2) безопасный уровень – 30%, 3) тревожный уровень – 20%; 4) катастрофический уровень – 10%. Для грунтовых плотин уровень катастрофичности понижается на 3%. При наличии осадков для грунтовых гидросооружений показатель катастрофичности из справочника «наменование плотин или дамб» уменьшаются еще на 2%, чтобы учесть возможность ослабления дамбы из-за подмыва ее внешними осадками.

В ночь на 10 марта уровень воды достиг 30 миллионов кубометров. На следующий день, после полудня или вечером, не могу сказать точное время, уровень воды превысил 40 миллионов кубометров. То есть за 15–16 часов в Кызылагашское водохранилище добавилось еще 15–16 миллионов кубометров воды. Дамба прорвалась 11 марта в 22 часа 30 минут. Через два часа вода хлынула в сторону села Кызылагаш. Ширина волны селевого потока составляла - 1,6 километров, высота 3 - 4 метра. По официальным данным, сильно пострадала большая часть села. 70% поселка Кызылагаш разрушено. Трагедия в Кызылагаше унесла жизни 44 человек.

Выводы. В данной статье проанализированы характеристики плотин, возможности современных систем контроля, основанных на применение микропроцессорной техники.

Трагические события весной 2010 года в Алматинской области и 2014 года в Карагандинской области с человеческими жертвами и разрушениями, а также наводнения в других регионах Казахстана послужили серьезным уроком по недопущению подобных ситуаций в дальнейшем. Необходима выработка рекомендации по оснащению гидротехнических сооружений современными контрольно-измерительными приборами, оборудованием и средствами повышения безопасности эксплуатации.

Работа выполнена за счет средств НИИ математики и механики при КазНУ имени аль-Фараби и грантового финансирования научных исследований на 2023–2025 годы по проекту AP19678157.

Литература

1. Чокин Ш.Ч., Баишев Б.Б., Григорьев В.А. Расчеты водохранилищ многоцелевого назначения. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1983. – 208 с.

2. Платт Ч. Электроника: логические микросхемы, усилители и датчики для начинающих. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 448 с.

3. Иго Т. Arduino, датчики и сети для связи устройств. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 544 с.

4. Бокселл Дж, Изучаем Arduino. 65 проектов своими руками. – СПб.: Питер, 2017. – 400 с.

5. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016. – 464 с.

6. Карвинен Т., Карвинен К., Валтокари В. Делаем сенсоры: проекты сенсорных устройств на базе Arduino и Raspberry Pi. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2017. – 432 с.

7. Петин В.А. Arduino и Raspberry Pi в проектах Internet of Thigs. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 320 с.

8. Белов А.В. Arduino: от азов программирования дло создания практических устройств. – СПб.: Наука и техника, 2018. – 480 с.

9. Саймон Монк. Мейкерство. Arduino и Raspberry Pi. Управление движением, светом и звуком. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 336 с.

10. Яценков В.С. От Arduino до Omega: платформы для мейкеров шаг за шагом. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.

11. Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. – М.: Наука, 2007. – 279 с.

12. Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 312 с.

13. Александров Д.В., Зубарев А.Ю., Искакова Л.Ю. Прикладная гидродинамика. – ЮРАЙТ, 2018. – 110 с.

14. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. – Новосибирск: Наука, 1986. – 224 с.

15. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.

16. Джомартова Ш.А. «Практические» интервальные вычисления // Вестник НАН РК. – 2002. – №2. – С. 41-46.

17. Джомартова Ш.А., Мазаков Т.Ж., Исимов Н.Т. Мазакова А.Т. Программа прогнозирования в реальном времени // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2017. – №4(66). – С. 27-32.

Жақсымбет Айсұлу Талғатқызы – студент 4-курса Казахского национального университета имени аль-Фараби; Алматы; e-mail: zhaksymbet03@gmail.com

Зиятбекова Гулзат Зиятбеккызы – PhD, и.о. доцента Казахского национального университета имени аль-Фараби; Алматы; e-mail: ziyatbekova@mail.ru

Мазақова Әйгерім Талғатқызы – докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби; Алматы; e-mail: aigerym97@mail.ru
Бургегулов Акылтай Дуйсенович – докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби; Алматы; e-mail: dizel_kz@bk.ru

Шорманов Тимур Серикханович – докторант Казахского национального университета имени аль-Фараби; Алматы; e-mail: shormanov@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С НАЧАЛЬНЫМИ И КРАЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ ДИФФУЗИОННОГО ПРОЦЕССА

Т. Мерембаев[1], О.А. Ауелбеков[1,2], А.Х. Қозбақова[1], К.У. Есентаев[1,2], Қ.Ж. Игібаев[1]
[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Қазақстан
[2]Казахский национальный женский педогический университет, Алматы, Қазахстан

Аннотация. *Данная работа посвящена применению нейронных сетей для решения параболических уравнений с начальными и краевыми условиями, возникающих при моделировании диффузионных процессов. В работе рассматриваются возможности использования современных архитектур нейронных сетей для численного решения таких задач, что позволяет повысить точность и эффективность расчетов по сравнению с традиционными методами. Особое внимание уделено алгоритмам обучения нейронной сети, способным учитывать сложные граничные условия и начальные значения функции, характерные для диффузионных процессов. В статье рассматривается решение задачи с частными производными с использованием нейронной сети в TensorFlow. Исследование моделирует уравнение с начальными и краевыми условиями, решая его с помощью подхода, основанного на физически-информированных нейронных сетях (PINNs). Работа демонстрирует применение нейронных сетей для решения дифференциальных уравнений с частными производными, что делает её полезной для задач моделирования физических процессов и симуляций, где точные аналитические решения трудно получить [5]. Результаты исследования демонстрируют потенциал нейронных сетей в ускорении вычислений и повышении качества решений в задачах математической физики.*

Ключевые слова: *нейронные сети, TensorFlow,моделирование, параболические уравнения, диффузионный процесс.*

1. Математическое моделирование диффузионных процессов

Математическое моделирование диффузионных процессов играет важную роль в различных областях науки и техники, таких как физика, химия, биология и инженерия. Одним из ключевых инструментов для описания таких процессов являются параболические уравнения с начальными и краевыми условиями. Эти уравнения позволяют описывать динамику изменения концентрации веществ, теплопередачу и другие явления, связанные с диффузией. Однако их аналитическое решение возможно лишь для ограниченного круга задач, в то время как большинство реальных проблем требуют применения численных решении [1].

Традиционные методы позволяют эффективно решать дифференциальные уравнения, однако они могут требовать значительных вычислительных ресурсов, особенно в случае многомерных задач с комплексными начальными и краевыми условиями. В связи с этим возникает потребность в разработке новых подходов, способных решать данные задачи с более высокой точностью и скоростью.

В последние годы нейронные сети получили широкое признание как мощный инструмент для решения сложных задач, связанных с анализом данных и моделированием процессов. Их способность к обучению и обобщению делает их перспективными для применения в области численного решения дифференциальных уравнений. Использование нейронных сетей для решения параболических уравнений позволяет сократить время вычислений, повысить точность результатов и упростить учет сложных граничных условий [2].

Цель данной работы заключается в исследовании возможностей применения нейронных сетей для решения параболических уравнений с начальными и краевыми

условиями, характерных для моделирования диффузионных процессов. В ходе исследования будет проанализирована эффективность различных архитектур нейронных сетей, а также предложены подходы к обучению сетей для корректного решения поставленных задач [3]. Ожидается, что полученные результаты внесут вклад в развитие методов численного моделирования с использованием нейронных сетей и откроют новые возможности для решения задач математической физики.

В качестве примера рассмотрим задачу моделирования диффузионного процесса в двумерной области с использованием параболического дифференциального уравнения частных производных. Диффузионные процессы описываются уравнением, которое учитывает изменение концентрации вещества во времени и пространстве, а также влияние источников или стоков вещества в системе.

2. Постановка задачи

Задача формулируется следующим образом:

Пусть $u(x, y, t)$ — концентрация вещества в точке с координатами (x, y) в момент времени t. Процесс изменения концентрации описывается параболическим уравнением:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + f(x, y, t) \quad (1)$$

где $u(x, y, t)$— концентрация вещества в точке с координатами t, а $f(x, y, t) = e^t(x^2 + x - 2)cosy$ — функция источника вещества, зависящая от координат и времени.

где:

- $\frac{\partial u}{\partial t}$ — частная производная по времени, описывающая изменение концентрации во времени.

- $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$ — частные производные второго порядка по пространственным координатам x и y, которые характеризуют диффузию вещества в пространстве.

- $f(x, y, t)$— функция источника, описывающая интенсивность добавления или удаления вещества в зависимости от координат и времени. В данном случае функция источника имеет вид:

Начальные условия:

$$u|_{t=0} = x^2 \cos y \quad (2)$$

Краевые условия:

$$u|_{x=0} = 0, \left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x=0} = 0$$

$$u|_{x=1}=e^t cosy\,,\left.\frac{\partial u}{\partial x}\right|_{x=1}=2e^t cosy \qquad (3)$$

$$u|_{y=0}=x^2 e^t\,,\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=0}=0$$

$$u|_{y=\pi}=-x^2 e^t\,,\left.\frac{\partial u}{\partial y}\right|_{y=\pi}=0$$

Задача заключается в разработке и исследовании метода решения параболических уравнений, описывающих диффузионные процессы, с использованием нейронных сетей. Параболические уравнения в данной задаче имеют начальные и краевые условия, которые определяют поведение моделируемого процесса во времени и пространстве. Для успешного решения задачи необходимо учитывать следующие направления по следующей схеме:

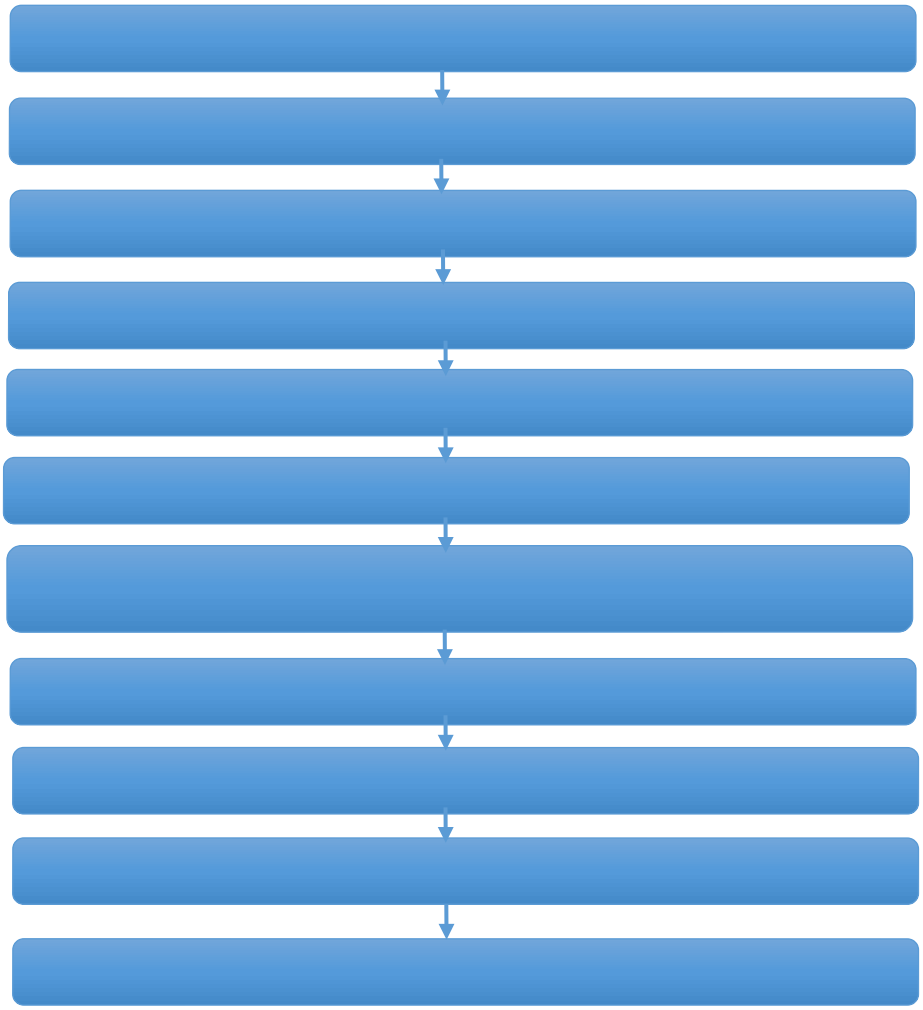


Схема 1. Описание применение нейронной сети для диффузионного процесса

3. Применение нейронной сети для диффузионного процесса

- *Математическая формулировка:* Определить параболическое уравнение, описывающее рассматриваемый диффузионный процесс, а также задать начальные условия (значения в начальный момент времени) и краевые условия (значения на границах области).

- *Выбор архитектуры нейронной сети:* Определить оптимальную архитектуру нейронной сети для решения данной задачи. Это включает в себя выбор типа сети (например, полносвязные сети, свёрточные сети или рекуррентные сети), количества слоев и нейронов, а также функции активации.
- *Подготовка данных для обучения:* Создать набор обучающих данных, включающий решения уравнения в различных точках пространства и времени, соответствующих начальными и краевыми условиями [8].
- *Процесс обучения:* Обучить нейронную сеть на подготовленном наборе данных, используя метод обратного распространения ошибки и оптимизационные алгоритмы для минимизации ошибки аппроксимации решения.
- *Оценка точности и эффективности:* Оценить точность аппроксимации решения, полученного с помощью нейронной сети, по сравнению с традиционными численными методами. Анализировать, как нейронная сеть справляется с учетом сложных начальных и краевых условий.
- *Анализ вычислительной эффективности:* Провести сравнение вычислительных затрат между традиционными численными методами и предложенным методом на основе нейронной сети для решения параболических уравнений.

Основная цель задачи — разработка и оценка метода, который с помощью нейронных сетей позволяет эффективно решать параболические уравнения с начальными и краевыми условиями, возникающие при моделировании диффузионных процессов, обеспечивая высокую точность и эффективность вычислений [7].

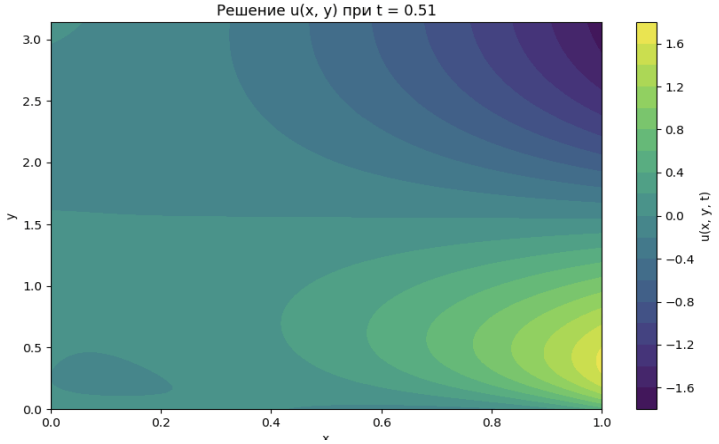


Рисунок 1. Отображение разрез решения при фиксированном t=0,51 двумерный случай

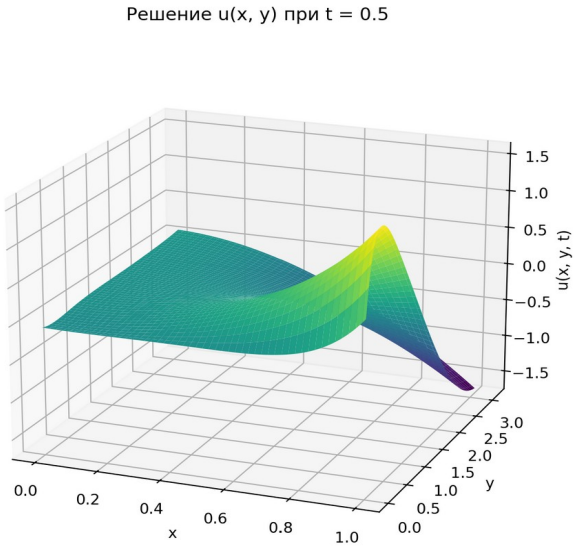


Рисунок 2. Отображение разрез решения при фиксированном t=0,5 трехмерный случай

Инициализация сетки: Область определения для переменных x, y и t, и создание сетки для численного решения.

Создание модели: Использование `tf.keras` для создания нейронной сети, которая будет обучаться на задаче решения уравнения.

Функция потерь: Функция потерь учитывает уравнение, начальные и краевые условия. Она включает квадрат разности между предсказанием нейронной сети и уравнением диффузии, а также штрафные члены для начальных и краевых условий.

Обучение: Компиляция и обучение модели на сгенерированных данных.

Визуализация: Применение библиотеки Matplotlib для отображения результата решения $u(x, y, t)$ в виде контурного графика при фиксированном значении времени t.

4. Заключение

В данной статье рассмотрена возможность применения нейронных сетей для решения параболических уравнений с начальными и краевыми условиями, описывающих диффузионные процессы. Использование нейронных сетей позволяет решать такие уравнения, обеспечивая гибкость в учете сложных граничных условий и эффективности при моделировании многомерных процессов, которые трудно решать традиционными численными методами [11].

Применение нейронных сетей для решения задачи с частными производными с использованием подхода PINNs (Physics-Informed Neural Networks) позволило эффективно моделировать решение уравнений с начальными и краевыми условиями. Использование TensorFlow и Keras обеспечило гибкость в настройке архитектуры нейронной сети, а также упростило процесс обучения благодаря встроенным функциям оптимизации и вычисления градиентов [8]. Исследование показало, что подход PINNs может быть успешным при решении задач, в которых требуется учитывать сложные дифференциальные уравнения и граничные условия, где традиционные численные методы могут быть менее эффективны или более трудоемки.

Результаты работы модели визуализированы в виде 3D-графиков, что позволяет наглядно оценить поведение функции решения во времени и пространстве. Это делает программу не только полезной с точки зрения точности вычислений, но и удобной для представления результатов в учебных и исследовательских целях [9].

Предложенная реализация является примером того, как современные методы машинного обучения могут применяться для решения классических задач математической физики, открывая новые возможности для моделирования сложных систем и процессов.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения нейронных сетей для решения параболических уравнений с начальными и краевыми условиями в задачах диффузионного типа. Это открывает возможности для их более широкого использования в задачах математического моделирования, где требуется быстрое и точное решение сложных дифференциальных уравнений [10]. В дальнейшем возможно расширение подхода на более сложные модели диффузионных процессов, а также исследование применения других типов нейронных сетей, таких как рекуррентные и сверточные, для улучшения качества решений.

Литература

1. Галабудрин, А.Б. Применение нейронных сетей для решения задачи Дирихле для областей сложной формы. Computational Mathematics and Information Technologies. 2024. Vol. 8, N. 2. – P. 35-47.
2. Omar Khatib,Simiao Ren, Jordan Malof, and Willie J. Padilla(2022). “Learning the Physics of All-Dielectric Metamaterials with Deep Lorentz Neural Networks”, Advanced Optical Materials, vol10, no.13,July 4, 2022. https://doi.org/10.1002/adom.202200097
3. Raban Iten, Tony Metger, Henrik Wilming, Lídia del Rio, and Renato Renner, “Discovering Physical Concepts with Neural Networks”, Physics, vol 124, January 2020. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.124.010508
4. Salvatore Cuomo, Vincenzo Schiano Di Cola, Fabio Giampaolo, Gianluigi Rozza, Maziar Raissi & Francesco Piccialli. “Scientific Machine Learning Through Physics–Informed Neural Networks: Where we are and What’s Next”, Journal of Scientific Computing, vol 92, no.88, 26 July 2022. https://doi.org/10.1007/s10915-022-01939-z
5. Fawad Naseer, Muhammad Nasir Khan, Muhammad Tahir, Abdullah Addas, S.M. Haider Aejaz. “Integrating deep learning techniques for personalized learning pathways in higher education”, Heliyon, vol 10, 15 June 2024, https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32628
6. Shashank Reddy Vadyala, Sai Nethra Betgeri. “General implementation of quantum physics-informed neural networks”, Array, vol 18, July 2023, https://doi.org/10.1016/j.array.2023.100287
7. Manuel Arias Chao, Chetan Kulkarni, Kai Goebel, Olga Fink. “Fusing physics-based and deep learning models for prognostics”, Reliability Engineering & System Safety, vol 217, January 2022, https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107961
8. Tao Du. “Deep Learning for Physics Simulation”, Association Computing Machinery, vol 5, 24 July 2023, https://doi.org/10.1145/3587423.3595518
9. Devendra Singh Chaplot, Eunhee Rhim, Jihie KimAuthors Info & Claims. “Personalized Adaptive Learning using Neural Networks”, Association Computing Machinery, vol 5, 25 April 2016, https://doi.org/10.1145/2876034.2893397
10. Arra Abaniel. “Enhanced conceptual understanding, 21st century skillsand learning attitudes through an open inquiry learning model in physics”, Journal of Technology and Science Education, vol. 11(1), September 2020, https://doi.org/10.3926/jotse.1004
11. Amer Farea, Olli Yli-Harja, Frank Emmert-Streib. “Understanding Physics-Informed Neural Networks: Techniques, Applications, Trends, and Challenges”, MDPI, AI, vol 3, 29 August 2024, https://doi.org/10.3390/ai5030074
12. Jeremy Yu, Lu Lu, Xuhui Meng, George Em Karniadakis. “Gradient-enhanced physics-informed neural networks for forward and inverse PDE problems”, Computer Methods in

Applied Mechanics and Engineering, vol 393,1 April 2022, https://doi.org/10.1016/j.cma.2022.114823
13. Simone Monaco, Daniele Apiletti. “Training physics-informed neural networks: One learning to rule them all?”, Results in Engineering, vol 18, June 2023, https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101023
14. Firuz Kamalov, David Santandreu Calonge, Ikhlaas Gurrib. “New Era of Artificial Intelligence in Education: Towards a Sustainable Multifaceted Revolution”, Sustainability, vol 15, 16 August 2023, https://doi.org/10.3390/su151612451
15. Zhiyi Xu, “AI in education: Enhancing learning experiences and student outcomes”, Proceedings of the 4th International Conference on Signal Processing and Machine Learning, Applied and Computational Engineering, vol 51, https://doi.org/10.54254/2755-2721/51/20241187

Мерембаев Тимур – PhD; Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; 050000, Алматы; e-mail: merembaevt@gmail.com

Ауелбеков Омирлан Ауелбекович – к.ф-м.н., ассоцированный профессор; Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; 050000, *Алматы; e-mail: omirlan.auelbek@gmail.com*

Козбақова Айнұр Холдасовна – PhD; ассоцированный профессор; Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; Казахский национальный женский педогический университет; 050000, Алматы; e-mail: ainur79@mail.ru

Есентаев Кайрат Умирбекович – старший преподаватель; Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; Казахский национальный женский педогический университет; 050000, Алматы; e-mail: esentaev.kayrat123@gmail.com

Игибаев Қуанышбек – магистр; Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; 050000, Алматы; e-mail: ikg78-78@mail.ru

DEEP NEURAL NETWORK FOR SEMANTIC SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGES

Karimov Sardor[1], Мамадалиев Нурилло[1], Сотволдиева Дилдора[1]
[1]*Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana, Uzbekistan*
E-mail. sk363688@gmail.com

Abstract. *Deep neural networks have emerged as a crucial tool in the processing of satellite images, particularly for semantic segmentation. This paper examines the use of deep neural networks for the automatic extraction and classification of objects in Earth satellite imagery. It primarily emphasizes how deep architectures like U-Net and MobileNet handle multi-band spectral data to accurately segment various land covers and objects of interest. The discussion includes data preprocessing methods, the selection of loss functions, and optimization techniques, along with examples of successful applications in cartography, agricultural monitoring, and urban planning. This study underscores the effectiveness of deep neural networks in addressing the complex challenges of semantic segmentation in satellite imagery and outlines their potential for future research and practical uses in land management and environmental monitoring.*

Keywords: *image segmentation, encoder-decoder framework, depthwise convolution, U-Net, MobileNet, superfine blocks, activation function.*

Introduction.

Semantic image segmentation involves identifying local regions within an image that correspond to various object classes. This technique is applied in Earth remote sensing (ERS) across multiple domains, including geoinformatics, georesource engineering, automatic relief map generation, urban planning, land use analysis, and ice monitoring, among others. Despite considerable advancements in methods and algorithms for image object classification, the segmentation issue remains only partially resolved. In many instances, certain stages of the segmentation process are still handled manually, resulting in considerable time expenditure. Furthermore, a universal and widely accepted methodology that serves as the foundation for most algorithms is lacking. No single algorithm exists that guarantees optimal segmentation for all images. Presently, numerous methods for semantic image segmentation utilize convolutional neural networks (CNN). Generally, these methods achieve commendable performance and accuracy for segmenting smaller images. Different CNN architectures are employed for the classification and dense labeling of these images. Nonetheless, these neural network-based image processing techniques possess specific limitations and are not flawless. Additionally, it is important to highlight that high-resolution images of the Earth's surface captured by satellites incur significant computational costs during segmentation. Therefore, the creation of methods aimed at decreasing computational demands while enhancing segmentation quality remains a pressing concern.

At present, there are no well-established guidelines for constructing CNN architectures, including the number of layers, the quantity and dimensions of feature maps, the size of convolution matrices, and the selection of learning algorithms. When designing a CNN structure, it is important to consider that having too few parameters can lead to a decrease in classification accuracy. Conversely, an excessive number of parameters can increase computational complexity without necessarily enhancing the network's classification performance. In computer vision, semantic segmentation involves assigning a semantic label to each connected region within an image. Most contemporary CNN architectures for image segmentation adhere to the principles described in [1].

The core concept is to adapt traditional CNN classification so that the output is a probability map of classes rather than a probability vector. Generally, a standard CNN functions as an encoder that produces feature maps for various levels of image decomposition. This encoder is followed by a decoder that resizes the feature maps back to the original spatial dimensions of the input image. Ultimately, a heat map is generated for each class. Deep semantic segmentation networks typically rely on full convolution principles and encoder-decoder architectures [2].

Typically, the encoder consists of a series of convolutional layers, which are followed by batch normalization (BN) and a rectified linear activation function (ReLU). After the convolution blocks, there is usually a pooling layer. Essentially, the encoder functions as a conventional convolutional network trained to classify the input image. The decoder mirrors the encoder in terms of layer count and is responsible for interpolating the output from the encoder. In the final layer of the decoder, a 1x1 convolution followed by a sigmoid activation function is commonly employed to produce the output segmented image.

U-Net [3] and MobileNet [4] are two distinct neural network architectures designed for different applications. U-Net is primarily utilized for image segmentation and features convolutional layers for feature extraction, as well as transposed convolutional layers for increasing dimensionality and generating detailed segmented maps.

In the U-Net architecture, pooling is performed using a maximization operation over a 2x2 pixel area. After going through several layers of high precision and subsampling, the input image is transformed into abstract feature maps, which are the outputs of the corresponding encoding blocks. The U-Net can be viewed as a modified version of the original architecture, integrating the output data from the decoder layers with the feature maps from the encoder at the same level. In this instance, interpolation within the decoder layers is carried out using transposed convolution [5]. This architecture has demonstrated a notable improvement in segmentation accuracy for various types of images, as well as its capacity to learn effectively from a limited dataset. However, the U-Net has drawbacks, including relatively low performance and high resource consumption. These limitations are linked to the complex and resource-intensive encoder architectures utilized, such as ResNet [6], Inception [7], and EfficientNet [8].

In contrast, MobileNet is designed to classify images while utilizing a minimal number of parameters. Its lightweight architecture makes it ideal for mobile devices and embedded systems.

U-Net employs MobileNet as an efficient encoder to extract features from input images. Thanks to its streamlined design, MobileNet enables rapid image processing and the extraction of significant features. It replaces the traditional fine-tuning layers in the U-Net encoder, which helps decrease the number of parameters and computations, making it advantageous in resource-intensive situations. MobileNet serves as the encoder in U-Net when high performance is required in environments with limited resources.

Proposed Method

Images acquired through remote sensing of the Earth typically feature high resolution, often exceeding dimensions of 2000x2000 pixels. In contrast, most CNNs are designed to handle input resolutions of 256x256 pixels. When the original image is divided into corresponding fragments, the overall time required for segmentation increases in proportion to the number of fragments. To effectively segment large images, it is essential to enhance the performance of the neural network architecture while ensuring the necessary segmentation accuracy is maintained. As previously mentioned, the U-Net architecture demonstrates good accuracy, making it a suitable choice for further use. One approach to boost the performance of such an architecture is by incorporating high-performance encoders. Currently, one such encoder is the MobileNet network [9], which minimizes memory usage for calculations while still achieving high prediction accuracy. This pre-trained network can even operate on mobile devices.

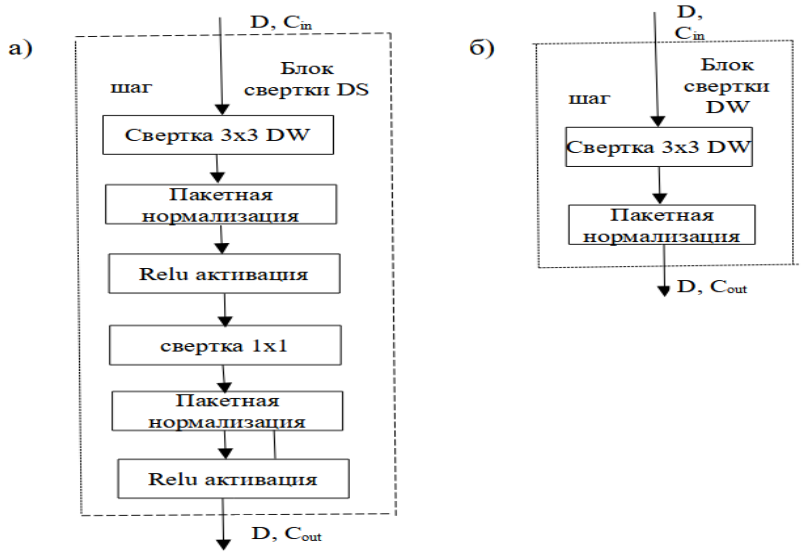


Fig. 1. Super-precise blocks: a) depthwise separable convolution block (DS); b) depthwise convolution block (DW); D is the image dimension, C_{in}, C_{out} are the number of input and output channels, stride is the convolution step

The architecture of MobileNet relies on depthwise separable convolution (DSW), which breaks down the standard convolution into two components: depthwise convolution (DW) and a 1×1 convolution known as pointwise convolution. In standard convolution, filtering and combining inputs into a new set of outputs occur simultaneously in a single step. In contrast, depthwise separable convolution operates in two phases. The first phase involves depthwise convolution, where one filter is applied to each input channel. In the second phase, pointwise convolution merges the outputs from the depthwise convolution. As a result, depthwise separable convolution separates the standard convolution into two distinct layers: one for filtering and another for pooling. This approach significantly reduces both computation requirements and model size.

The network architecture features two types of blocks, illustrated in Fig. 1. The first type employs depthwise separable convolution (DSW), incorporating batch normalization and ReLU activation functions. The second type consists of depthwise convolution with batch normalization and the same activation function. Generally, these blocks utilize convolutions with a stride of 1. A stride of 2 is implemented to decrease the spatial dimensions.

From the ultra-precise blocks, two fundamental types of ultra-precise blocks are created. The designs of the first and second types of blocks are illustrated in Fig. 2 and Fig. 3. The basic block of the first type incorporates a residual connection. In this setup, the outcome of applying consecutive convolutions of the depthwise separable (DS) and depthwise (DW) types to the input is added to the result of an independent depth convolution.

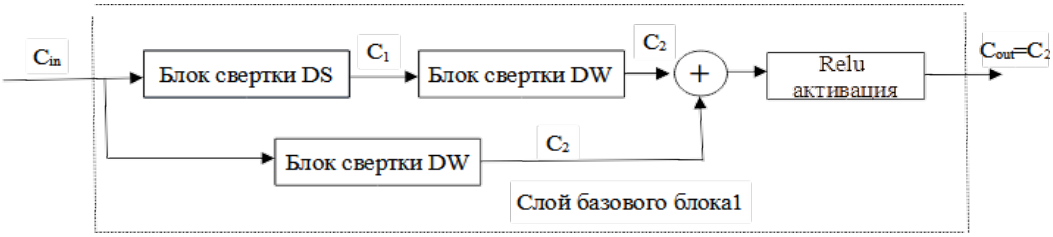


Fig. 2. The structure of the basic block of the first type of ultra-precise level. C_{in}, C_{out} — the number of input and output channels; C_1 — the number of channels of the depth separable convolution, C_2 — the number of channels of the depth convolution

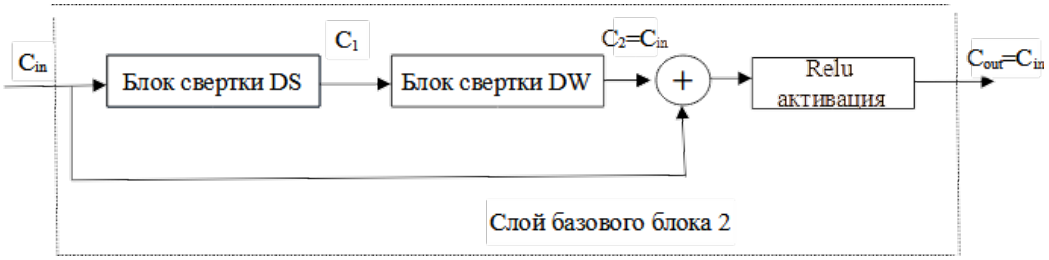


Fig. 3. Structure of the basic block of the second type of ultra-precise level. C_{in}, C_{out} — the number of input and output channels; C_1 — the number of channels of the depth separable convolution, C_2 — the number of channels of the depth convolution

Each super-precise layer of the network is formed by a combination of these basic blocks. Figure 4 shows the structure of a super-precise layer of the network, consisting of a basic block of the first type and N basic blocks of the second type.

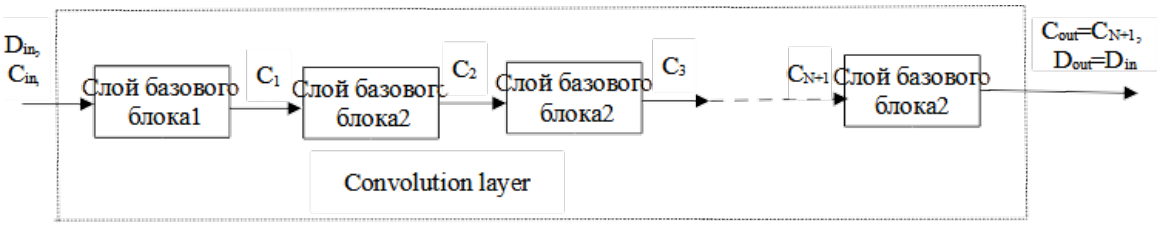


Fig. 4. The super-precise layer of the network. D_{in}, D_{out} are the dimensions of the input and output feature maps; C_{in}, C_{out} are the input and output number of channels; C_1 is the number of channels of the basic block of the first type, C_2, … C_{N+1} is the number of channels in the corresponding blocks of the second type

The coding component of the network begins with a standard superfine layer that employs a 3x3 convolution with a stride of 2, followed by batch normalization and max pooling. This is followed by multiple superfine layers, each comprising a series of basic blocks at the superfine level (see Fig. 4). Typically, each layer increases the number of filters while decreasing the spatial dimensions of the feature maps. In this study, an encoder made up of four superfine layers is utilized. The specifications of the superfine layers are provided in Table 1.

Table 1. Parameters of the ultra-precise encoder layers

Layer number	Input dimension D_{in}	Output dimension D_{out}	Number of input channels C_{in}	Number of output channels C_{out}	Number of type 1 blocks	eNumber of type 2 blocks
1	512	128	3	64	-	-
2	128	128	64	256	1	2
3	128	64	256	512	1	3
4	64	32	512	1024	1	5

The decoding component of the network is made up of several layers, where each layer first upscales the input feature map and then combines this output with the feature map from the preceding encoder layer. The result of this concatenation is subsequently processed through

depthwise convolutions, which utilize batch normalization and the ReLU activation function. The structure of the decoding layer employed in this study is illustrated in Figure 5.

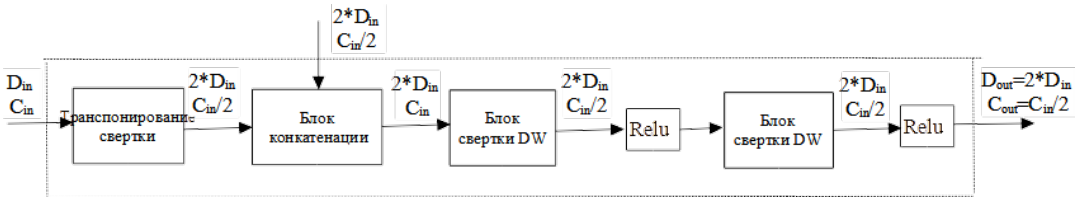


Fig. 5. Structure of the decoding layer. Din, Dout — dimensions of input and output feature maps; Cin, Cout — input and output number of channels

To enhance the dimensionality of the input feature map, a transpose convolution is employed, effectively doubling the size of the feature map while halving the number of channels. These adjustments align the dimensions and channel count with the feature map from the preceding encoder layer. Once these maps are merged, a new feature map is created, with dimensions matching those of the corresponding encoder layer and the channel count equal to the input channels. This resulting feature map is then processed through two depth convolution blocks. The output from the decoding layer serves as the input for the next decoding layer. The final decoding layer takes in both the feature map from the previous decoder layer and the original input image.

This layer includes an additional deep convolution with channel counts corresponding to the number of classes identified in the image, along with a sigmoid activation function. The output of this layer is a "heat" map, which represents the segmented image.

High-resolution satellite images are too large for direct processing by a neural network. Simply resizing the original images can lead to a decrease in segmentation accuracy. Therefore, the initial step in preprocessing involves dividing the dataset images and their corresponding masks into smaller segments. For network design, an input image size of 512x512 pixels was selected, as it reduces computational costs during both training and usage while still maintaining adequate segmentation accuracy. The resulting image segments and masks are then resized to this specified dimension. In this study, each original image is partitioned into 16 fragments.

Each color channel of the image fragment is normalized to a common range. The three-channel images of the mask fragments are converted into multi-channel images, with each channel representing a specific type. In this process, the pixel in each channel that corresponds to the channel type is assigned a unique value, while pixels that do not match the channel type are assigned a value of zero. This results in the creation of a working dataset composed of image fragments and their corresponding masks.

Experimental results. The network is trained using a pre-prepared LandCover dataset, which is enhanced with labeled images from Central Asian regions. This dataset comprises 1,146 high-resolution satellite images of the Earth's surface, along with masks indicating the type of land surface for each pixel in the corresponding images. The dataset categorizes the following types: agricultural land, pastures, barren land, buildings and structures, forests, and water bodies. Any surface types not listed are labeled as unknown. The mask functions as a standard image, with each pixel value encoded in a specific color that corresponds to the surface type.

All images from the original dataset undergo preprocessing according to the previously described procedure. This results in a working dataset of 18,336 image fragments and their associated masks. The final working set is randomly divided into training, validation, and test datasets, constituting 60%, 20%, and 20% of the total working set, respectively.

Network training. The network is trained using the transfer learning approach. The encoding section of the network is constructed based on the previously described modification of the MobilNet architecture, which has been trained on the ImageNet dataset. Consequently, the initial weights of the encoder are directly set using the weights from this pre-trained model, while

the weights for the decoding section are initialized with random values. This method significantly reduces the training time required for the network designed to segment satellite images. To train the network, a loss function based on the Dice coefficient is employed, which serves as a similarity metric for two sets and is calculated as follows:

$$dsc = 2 * (|x \cap y| / (|x| + |y|))$$

where x is the predicted class of a pixel and y is the true class of the same pixel obtained from the corresponding mask channel. | x | and | y | are the number of elements in each set. Then the corresponding loss function is defined as:

$$Loss_{dsc} = 1 - dsc$$

The Adam optimization algorithm is utilized to iteratively adjust the network weights throughout the training process. This algorithm builds upon stochastic gradient descent. A learning rate of 10−5 was employed during the training, along with techniques for automatic learning rate reduction and early stopping if the losses failed to decrease over several epochs. Batch normalization was applied during training, with an experimentally determined batch size of 4. To evaluate the segmentation results, a network with the U-Net architecture, set up to process the same images, was also trained using the same dataset and training hyperparameters. In this case, approximately 31.4 million parameters were adjusted during the training of the U-Net network. Conversely, the proposed MbUnet network requires the adjustment of only 20.6 million parameters, resulting in significantly reduced computational costs when using this network.

Testing. Testing was conducted on a set of images using the trained neural network. The output for each test image consists of 16 segments, with each segment being a multi-channel binary image. The number of channels corresponds to the various types of segmented land surfaces. For visualization purposes, these multi-channel images are converted into standard RGB images using a color table that assigns a specific color to each surface type. Subsequently, a complete image is assembled from the 16 segments, showcasing the segmentation results. An example of the satellite image segmentation is illustrated in Fig. 7.

Fig. 7. Example of satellite image segmentation: a) original image; b) marked mask; c) segmentation result

During testing, the segmentation accuracy at the pixel level is evaluated using the relevant labeled masks from the test set. The average accuracy on the test set was approximately 64%, which aligns with the accuracy observed on the validation set used for training the network.

Conclusion. The proposed method achieves a high level of segmentation accuracy for satellite images compared to existing solutions. This approach utilizes an encoder-decoder architecture similar to that of the Unet network, with a modified MobilNet network serving as the encoder. In the decoder, each layer enhances the dimensionality of the input feature maps through transposed convolution, which is then merged with the corresponding encoder layer's feature maps

and processed using depthwise convolution. The incorporation of depthwise convolutions in both the encoder and decoder significantly reduces the computational costs during the training of the deep neural network while also improving its performance.

REFERENCES

1. Long J., Shelhamer E., Darrell T. Fully convolutional networks for semantic segmentation // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2015. – PP. 3431-3440.
2. Bai K. A comprehensive introduction to different types of convolutions in deep learning // Towards data science. – 2019. – PP. 85-89.
3. Ronneberger O., Fischer P., Brox T. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation // Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention–MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, Proceedings, Part III 18. – Springer International Publishing, 2015. – PP. 234-241.
4. Howard A. G. et al. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications // arXiv preprint arXiv:1704.04861. – 2017. – PP. 53-67.
5. Zeiler M. D., Taylor G. W., Fergus R. Adaptive deconvolutional networks for mid and high level feature learning // 2011 international conference on computer vision. – IEEE, 2011. – PP. 2018-2025.
6. He K. Identity mappings in deep residual networks // Computer Vision–ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11–14, 2016, Proceedings, Part IV 14. – Springer International Publishing, 2016. – PP. 630-645.
7. Szegedy C. Rethinking the inception architecture for computer vision // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2016. – PP. 2818-2826.
8. Tan M., Le Q. Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks // International conference on machine learning. – PMLR, 2019. – PP. 6105-6114.
9. Boguszewski A. LandCover. ai: Dataset for automatic mapping of buildings, woodlands, water and roads from aerial imagery // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. – 2021. – PP. 1102-1110.
10. Porubay O. et al. Optimization of operation modes of renewable energy facilities to provide energy for agriculture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 01028.
11. Ergashev O. et al. Programming and processing of big data using python language in medicine //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 02027.

Каримов Сардор Илхом угли – старший преподаватель Ферганского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми;
E-mail. sk363688@gmail.com

APPLICATION OF THE MACHINE LEARNING METHOD IN PROCESS CONTROL

[1,2]Kalizhanova A.U., [1,3]Kozbakova A.Kh., [1,2]Imanbekova U.N., [1,4]Imanbekova A.N., [1,5]Aitkulov Zh.

[1]Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan
[2]Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Kazakhstan
[3]Almaty Technological University, Kazakhstan
[4]Al Farabi Kazakh National University, Kazakhstan
[5]Kazakh National Women's Teacher Training University, Kazakhstan
e-mail: kalizhanova.aliya@gmail.com; ainur79@mail.ru; uli.08897788@gmail.com; imanbeka7788@gmail.com; zhalau1964@gmail.com

Abstract: *This article describes the application of the machine learning method in process control. There are several types of regression analysis, the choice of a specific one depends on many factors. Such factors may be the type of target variable, the number of independent variables, etc. Using appropriate tools and methods, we will analyze the collected data to obtain useful indicators for us. This may include statistical analysis, machine learning, text analysis, etc. In general, the implementation of all these work steps provided a full cycle of data analysis - from preprocessing to visualization and comparison of the results of various clustering methods. The findings turned out to be important for understanding the specifics of the data and choosing the best clustering method in a particular situation.*

Key words. *Machine learning, control, process, visualization, clustering method.*

Based on the results of data analysis, we have developed a model that will use big data for diagnostics, forecasting, as well as for evaluating the effectiveness of managing the processes of charging and electric melting of copper concentrates. The model has been tested on data taken from measuring instruments to verify its accuracy and reliability. To represent the data, a visual tool was used to represent the data in the form of a color map or heat map. It displays the density or intensity of values on a specific area using a color scale, where higher values are displayed in bright colors and lower values in dimmer colors [1-3]. It helps to identify areas with high or low intensity, which is useful for forecasting and decision-making in the metallurgical industries. The scatter diagram is shown in Figure-1.

Figure 1 – Dot diagram

Scatter Plot allows you to build a scatter plot (or scatter plot). Let's add the data mining Scatter Plot model to the previous example[4-6]. The resulting dot diagram provides visualization of a two-dimensional dot diagram. The data is displayed as a set of points, each of which has the value of the X-axis attribute defining the position on the horizontal axis and the value of the Y-axis attribute defining the position on the vertical axis. The image below shows a scatter plot of a dataset with a class attribute mapping [7-10]. By applying it with k-means, you can visualize the result of clustering (Figure 2).

Figure 2 – Visualization of clustering

Hierarchical Clustering performs hierarchical clustering of data and builds a cluster tree known as a dendrogram. The dendrogram displays the hierarchy of clusters and allows us to visually explore the data structure. After the necessary data preparation, we can apply this algorithm. The hierarchical clustering algorithm cannot work directly with the input data, it needs a distance matrix to work. The Distance Metric is a distance metric used to determine the proximity between data points (data that we took from metering and control devices installed in the metallurgical workshop). Common techniques are Euclidean distance, Manhattan metrics, correlation, and others. To create a distance matrix, you can use many different metrics, using the standard Euclidean (Figure 3).

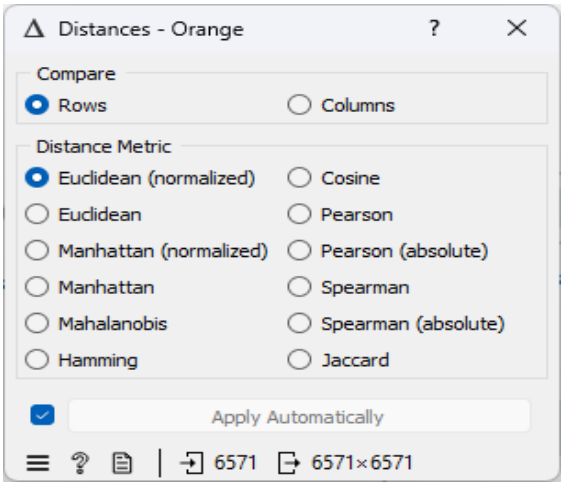


Figure 3– Euclidean distance matrix

This is what the hierarchical model looks like for our data from the table, here we use a 3 cluster model of 3 colors (Figure 4).

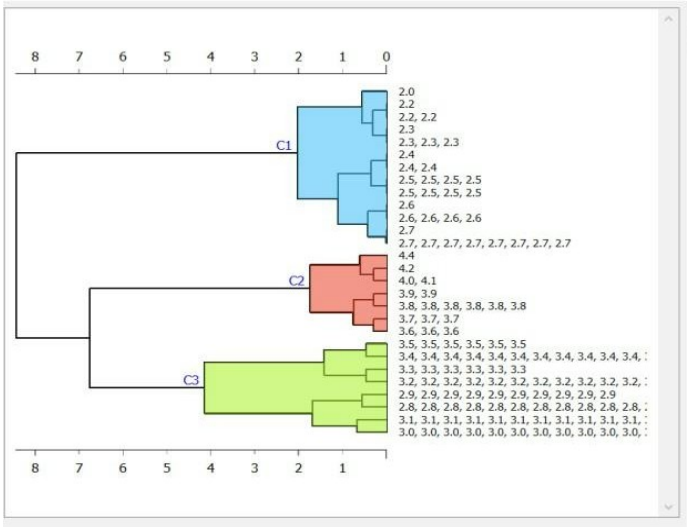


Figure 4 – Hierarchical clustering

Data visualization using the Scatter Plot is shown in Figure 5.

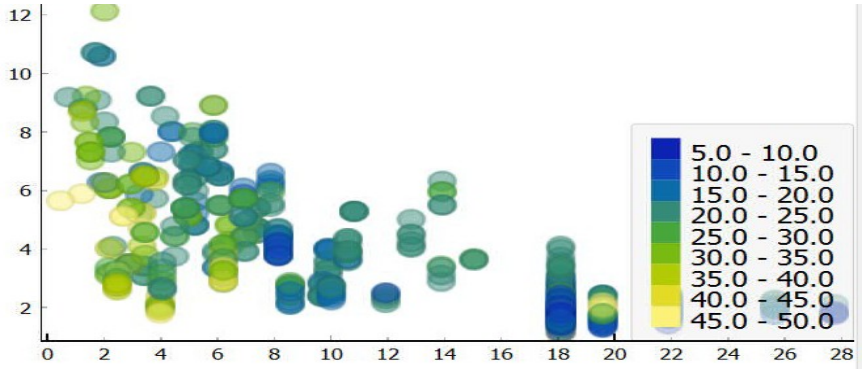


Figure 5 – Visualization of data using a Scatter Plot

Now let's create a similar graph, but built using the Manhattan metric (Figure 6).

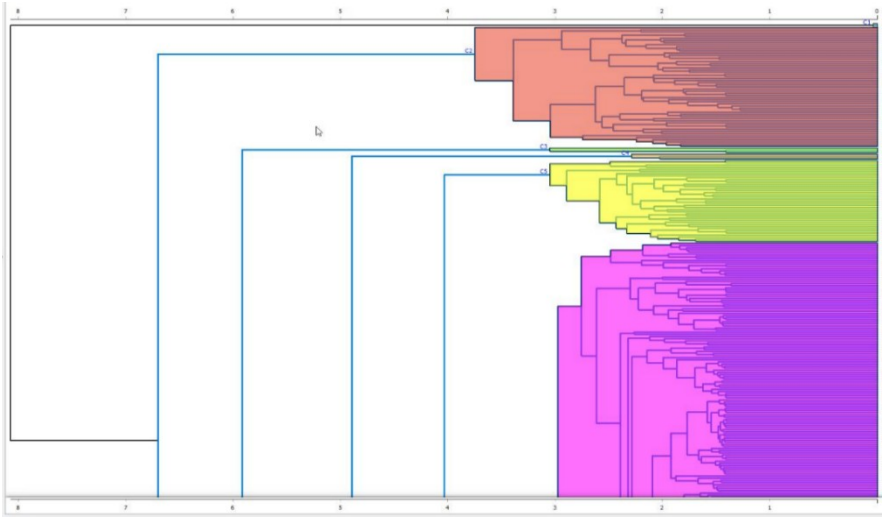


Figure 6 – Hierarchical clustering based on Manhattan metrics

The field of view of the expert system is shown in the figure -7.

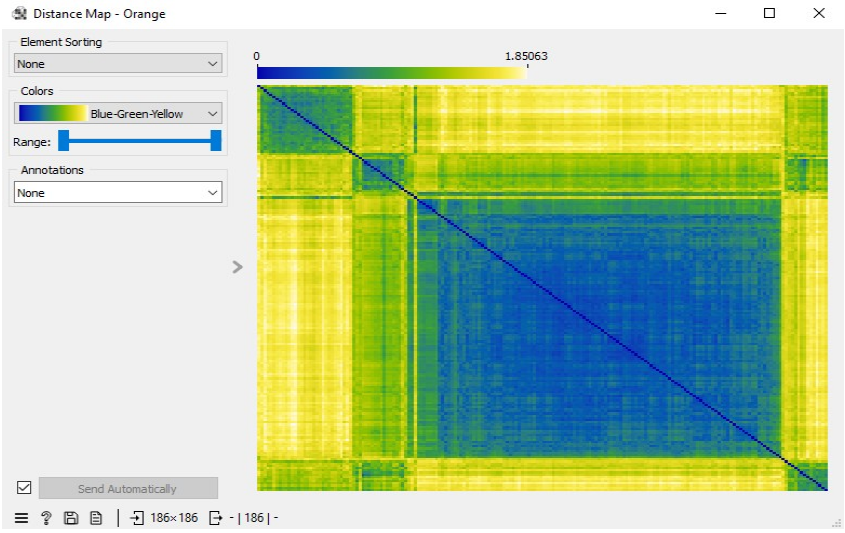


Figure 7 – Field of view of the expert system

This widget is well suited for displaying tabular data obtained from the output of other widgets. In this situation, you can see the data in our table, they are necessary for us in the next paragraph and work, they serve for the expert system as object detection in the picture.

And here we already use clustering, in which we have data from our table (Figure 8).

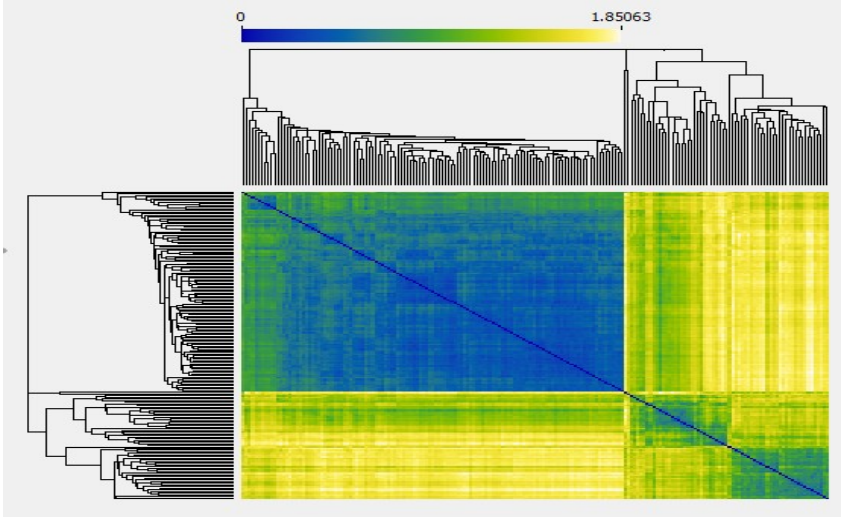


Figure 8 – The field of view of the expert system using data clustering

As a result of the work for data analysis and the application of clustering algorithms, the following results were achieved:

- Data upload: The original data was successfully uploaded, which provided the opportunity for further analysis and processing

- Filtering/cleaning of data: Using Select Rows and Select Columns, the necessary filtering and cleaning of data was performed in accordance with the assigned task. This made it possible to prepare the data for subsequent clustering.

And this is what our final model looks like with connections, connections and various functions (Figure 9).

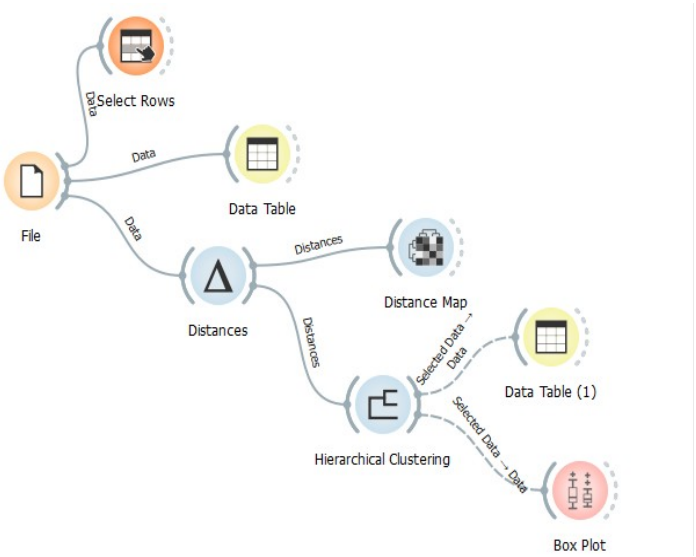


Figure 9 – Model of the process control system

Experiments were conducted on clustering data using the k-means algorithm with a fixed and optional number of clusters. Then clustering was performed using a hierarchical clustering algorithm with different distance metrics.

- Visualization of results: Clustering results were visualized using a Scatter Plot for each experiment, which allowed for a better understanding of the data structure and cluster distribution.

- Comparison of results: The results of two algorithms - k-means and hierarchical clustering - were compared. During the analysis, the strengths and weaknesses of each method were identified, which allowed us to draw reasonable conclusions.

- The impact of data filtering: By disabling data filtering, an additional experiment was conducted. Comparing diagrams before and after filtering made it possible to evaluate the effect of filtering (cleaning) data on the final result of clustering.

Funding: This work is supported by grant from the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan within the framework of the Grant Financing Project No. AP19679153 “Research and development of a method and technology for creating composite structures with built-in photonic sensors PSBC (Photonic Smart Bragg Composites)”, Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK.

Acknowledgments: Research were carried out within the framework of the Grant Financing Project No. AP19679153 “Research and development of method and technologies for creating composite structures with built-in photonic sensors PSBC (Photonic Smart Bragg Composites)” Institute of Information and Computational Technologies of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan.

References

1. Merayo, D.; Rodríquez-Prieto, A.; Camacho, A.M. Prediction of Mechanical Properties by Artificial Neural Networks to Characterize the Plastic Behavior of Aluminum Alloys. *Materials* 2020, *13*, 5227. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
2. Xiong, J.; Shi, S.-Q.; Zhang, T.-Y. A machine-learning approach to predicting and understanding the properties of amorphous metallic alloys. *Mater. Des.* 2020, *187*, 108378. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Galimzyanov, B.N.; Doronina, M.A.; Mokshin, A.V. Arrhenius Crossover Temperature of Glass-Forming Liquids Predicted by an Artificial Neural Network. *Materials* 2023, *16*, 1127. [Google Scholar] [CrossRef]

4. Mysen, B.O.; Virgo, D.; Scarfe, C.M. Relations between the anionic structure and viscosity of silicate melts—A Raman spectroscopicstudy. *Am. Mineral.* 1980, *65*, 290–301. [Google Scholar]
5. Min, D.J.; Tsukihashi, F. Recent Advances in Understanding Physical Properties of Metallurgical Slags. *Met. Mater. Int.* 2017, *23*, 1. [Google Scholar] [CrossRef]
6. Engelhardt, L.G.; Zeigan, D.; Jancke, H.; Wieker, W.; Hoebbel, D. 29Si-NMR-Spektroskopie an Silicatlösungen. II. Zur Abhängigkeit der Struktur der Silicatanionen in wäßrigen Natriumsilicatlösungen vom Na: Si-Verhältnis. *Z. Für Anorg. Und Allg. Chem.* 1975, *418*, 17–28. [Google Scholar] [CrossRef]
7. De Jong, B.; Keefer, K.D.; Brown, G.E., Jr.; Taylor, C.M. Polymerization of silicate and aluminate tetrahedra in glasses, melts, and aqueous solutions—III. Local silicon environments and internal nucleation in silicate glasses. *Geochim. Cosmochim. Acta* 1981, *45*, 1291–1308. [Google Scholar] [CrossRef]
8. Zhang, G.H.; Chou, K.C.; Mills, K. A Structurally Based Viscosity Model for Oxide Melts. *Metall. Mater. Trans. B* 2014, *45*, 698–706. [Google Scholar] [CrossRef]
9. Avramov, I.; CRüssel Keding, R. Effect of chemical composition on viscosity of oxide glasses. *J. Non-Cryst. Solids* 2003, *324*, 29–35. [Google Scholar] [CrossRef]
10. Schlesinger, M.E.; Sole, K.C.; Davenport, W.G.; Alvear Flores, G.R.F. Chapter 6—Flash smelting (Davenport et al., 2001). In *Extractive Metallurgy of Copper*, 6th ed.; Schlesinger, M.E., Sole, K.C., Davenport, W.G., Alvear Flores, G.R.F., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 119–141. ISBN 978-0-12-821875-4. [Google Scholar]

Kalizhanova Aliya – Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan, Chief Scientific Officer; Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Kazakhstan, Professor of the Department of IT Engineering and Artificial Intelligence; kalizhanova.aliya@gmail.com

Kozbakova Ainur – Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan, Chief Scientific Officer; Almaty Technological University, Kazakhstan, Professor; ainur79@mail.ru

Imanbekova Ulzhan – Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan, senior Scientific Officer; 2) Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G.Daukeyev, Kazakhstan, associated Professor of the Department of IT Engineering and Artificial Intelligence; uli.08897788@gmail.com

Imanbekova Aliya – Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan, Scientific Officer; Al Farabi Kazakh National University, Kazakhstan, PhD doctoral student at the Departments of Information Systems; imanbeka7788@gmail.com

Aitkulov Zhalau – Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK, Kazakhstan, senior Scientific Officer; Kazakh National Women's Teacher Training University, Kazakhstan; zhalau1964@gmail.com

THE IMPLEMENTATION OF SUGGESTOPEDIA METHOD IN THE TEACHING AND LEARNING PROCESS FUTURE SPECIALISTS IN THE BRANCH OF INFORMATION COMMUNICATION TECHNOLOGY G.LOZANOV

Khasanboy Kodirov[1], Temurbek Abdullaev[1]
[1]Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana, Uzbekistan
Corresponding author: qodirovhasanboy@68.gmail.com

Abstract.*This article discusses suggestopedia and suggestology methods of teaching. And will provide with the information some essential elements in conducting suggestopedic teaching and also will discuss some disadvantages of the method. The conclusion will focus on the benefits of the method which overweight the disadvantages.*

Key words. *Suggestopedia, method of Lozanov, non-hypnotic, Baroque music, Largo movement, power of unconscious mind.*

Introduction. Are you a teacher of a foreign language? Have you ever faced with difficulties concerning memorization of new words and barriers between two languages such as patterns of language? Some people argue that these problems in language learning are expected and ordinary things to occur. But as one Uzbek proverb says “If the way of doing is found, even snow can flame”, these problems also can be solved easily. If you wander how, you have to be patient and read the following article.

The method in language learning called Suggestopedia created by Bulgarian educator and psychologist Geogri Lozanov promises to make a significant effect including increasing learning effectiveness by 15 and even 30 times rather than traditional way of teaching. The name combines the terms "suggestion" and "pedagogy", the main idea being that accelerated learning can take place when accompanied by de-suggestion of psychological barriers and positive suggestion.

Typical features of a Suggestopedia lesson:

- target language/mother tongue;
- teacher-centred;
- bright, cheerful classrooms with comfortable chairs;
- soothing background music;
- positive suggestion and negative "de-suggestion" by teacher;
- new identities for learners with TL names and new occupations;
- printed TL dialogues with MT translation, vocabulary and grammar notes;
- reading of dialogues by teacher, rhythm and intonation matched to music;
- reading of dialogues by learners just before sleeping and on rising (homework);
- classroom activities based on dialogues, including Q&A, games and song.

Lozanov states that suggestopedia is a teaching system which makes use of all the possibilities tender suggestion can offer. The suggestion here is about something that can make students feel enjoy in teaching and learning process. Lozanov created this method in the hope that students would enjoy in learning, especially learning foreign language.

Materials and methods.Suggestopedia was originally applied mainly in foreign language teaching, and it is often claimed that it can teach languages approximately three times as quickly as conventional methods. In that reason, the researcher is trying to conduct a research about suggestopedia. Lozanov states that there are four main stages of the activities in suggestopedia method. They are presentation, concert session (active and passive), elaboration, and practice. In the presentation stage, the students are helped to get positive mind that learning is easy and fun. In

this stage, the teacher sets the environment of the class as comfortable and cheerful as it could be for the students. In the active concert, the teacher reads a text and is repeated by the students. After that, in the passive concert, the teacher plays some baroque music in the background and she/he reads the text again and the students listen carefully. In the elaboration, the teacher tells the students that they will do something like making film, gaming, etc. after the concert session. In the practice stage, the teacher uses games, puzzles, etc. to review the students understanding. The activities in suggestopedia method seem fun for the students. By applying this method in the class teacher hopes that the students will enjoy learning English. Many students in EFL classes think that learning foreign language is difficult.

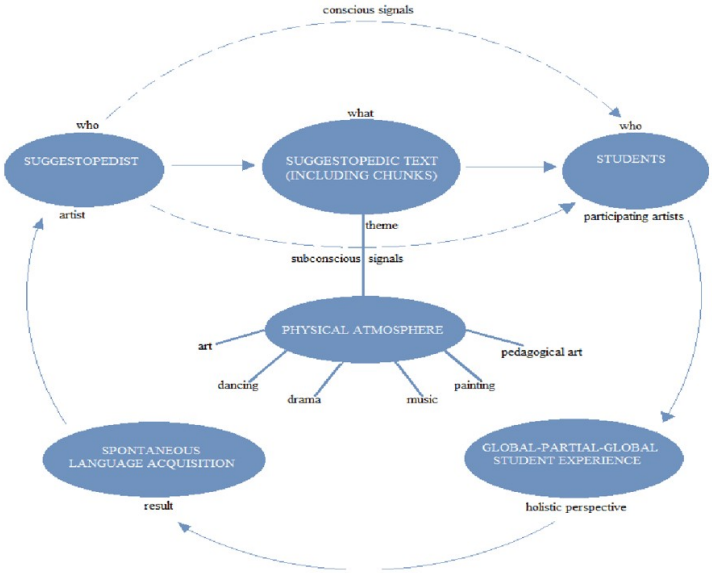


Fig. 1. Many students in EFL classes think that learning foreign language is difficult

Gold, the founder of the National Council of Suggestopedia, said in his speech that suggestopedia was created to make easier learning for students because suggestopedia make the students feel fun and interested in the teaching and learning process. Lozanov also states that "if you want to learn more, more easily, more pleasantly, in a stable way and with a better impact on health – then accept Suggestopedia, desuggestive learning, because it is learning with love". By applying the suggestopedia method, the students will feel that learning foreign language is not as difficult as they think. If the students feel that learning is easy and fun, they will be able to learn foreign language maximally. Lozanov argued that learners have difficulties in acquiring English as the second language because of the fear of the students to make mistakes. When the learners are in this condition, their heart and blood pressure raise. He believes that there is a mental block in the learners' brain (affective filter). This filter blocks the input, so the learners have difficulties to acquire language caused by their fear. The aim of suggestopedia is to lower the affective filter and motivate students' mental potential to learn, aiming to accelerate the process by which they learn to understand and use the target language for communication to achieve superlearning. It is the final goal of suggestopedia.

The data were obtained through the observation that was focused in the teachers' activities during the implementation of Suggestopedia method in the teaching and learning process. There are six key features of suggestopedia method. They are comfortable environment, the use of music, peripheral learning, free errors, homework is limited, and music, drama, and art are integrated in the teaching and learning process. The teaching and learning process of suggestopedia method had a comfortable environment. The chairs were arranged into semicircle facing the blackboard so that the students can pay more attention to the teacher and would be more relaxed. The teacher also always asks for the students' condition whether they were comfortable enough or not in the day

they study English. There are many pictures on the wall that can support their teaching and learning process. Those pictures are there in the hope that when the students forget about something they can get it from the wall immediately.

Nosrati state that in this kind of teaching method, suggestopedia method, the classroom is very different from common classrooms. In the classroom, the chairs are arranged semicircle and faced the black or white board in order to make the students pay more attention and get more relaxed. The teacher arranged the students' chair into semicircle to make the students feel more relax. The teacher used baroque music in the suggestopedia teaching and learning process. Baroque music is a classic music. In the suggestopedia method baroque music is used to make the students more relax. If the students are relaxed, their feeling of fear will be decreased and it can make the students easier to understand while studying English. The teacher asked the students to listen to the music and feel more relax. One of the most uniqueness of this method is the use of Baroque music during the learning process. Ostrander and Schroeder cited in Harmer said that Baroque music, with its 60 beats per minute and its specific rhythm, created the kind of relaxed states of mind for maximum retention of material. It is believed that Baroque music creates a level of relaxed concentration that facilitates the intake and retention of huge quantities of materials. In the suggestopedia method, students were in a peripheral learning. The students acquire English not only from direct instruction but also from indirect instruction. It is encouraged through the presence in the learning environment of posters and decoration featuring the target language and various grammatical information.

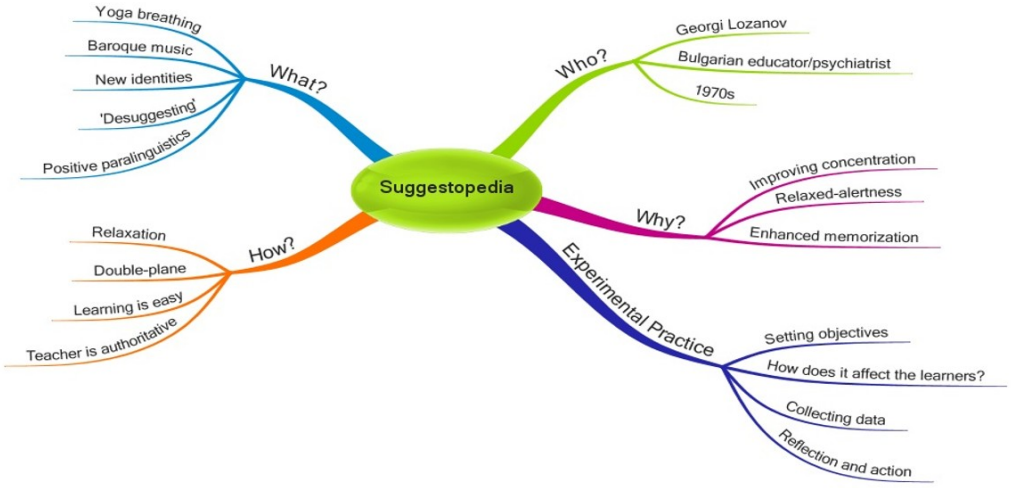


Fig. 2. It is encouraged through the presence in the learning environment of posters and decoration featuring the target language and various grammatical information

Result and discussion. Dr. George Lazanov has carried out experimental research in teaching foreign languages at the University of Sofia. His pioneering research offers hope for a breakthrough for a solution of this common problem of educators. Lozanov termed his technique "Suggestopedia." The technique combines memory expansion and relaxation to utilize the unconscious mental activity and intuitive mode of awareness. He claimed learning was increased 5 to 50 times the normal rate by releasing the unused reserve power of the mind, by developing the "intuitional perceptive potential," and by increasing concentration while reducing stress and anxiety. Students learned with less effort, more efficiency, and more retention of the material, while feeling no mental or physical fatigue after attending a class employing suggestopedic methods. A positive, warm, receptive, and calm classroom atmosphere was created using relaxation techniques. Suggestion saturation was used to increase self-confidence and spontaneity. This approach reduced tension and anxiety thereby removing the barriers which tend to block the

flow of cognitive material to the brain. Distractions which hampered learning were avoided, as a calm and positive atmosphere was enhanced by the relaxation. Astor stated that the learning environment should maintain a low anxiety level with a supportive atmosphere to produce positive emotional states which influence learning efficiency. Suggestopedia utilizes the person's ability to learn more effectively via nonspecific mental activity. By using the periphery of the mind rather than the center of attention, the antisuggestion barriers can be bypassed to reach the latent power of the mind. Lawrence suggested that "relaxed alertness" increases the ability to absorb and assimilate information because of increased suggestibility, increased openness to new ideas, and reduced criticalness of suggestions. During the suggestopedic process, students are in a state of "relaxed alertness," learning new material without consciously participating in the ordinary manner of memorizing, but through an "intuitive perceptive" approach. Students who attended the classes at the University of Sofia were tested a year after the course ended and the results showed they had retained the words, phrases, and grammar they had learned in the course. Lozanov claimed the capacity of the brain to learn vast amounts of new material seemed endless, once the barriers were lowered and unconscious mental activity was in effect. Suggestopedia is an attempt to reach the unused power of the mind and to prove learning is pleasant and retainable.

Conclusion. Suggestopedic method is based on the idea that people, as they get older inhibit their learning to conform to the social norms and in order to reactive the capabilities they used as children, teachers have to use the power of suggestion. Suggestion is considered to be the basic instrument on achieving success in language learning. The method mainly focuses on the power of the unconscious mind. But the method is totally different from hypnosis or placebo. Lazanov admitted that the method is not related to the artificial Trans or pseudo-science. He claims that the more the brain is trained and used the stronger and smarter it will be like muscles in our body.

The major problem of this study is the teachers' activity during the implementation of Suggestopedia method in the teaching and learning process. The main problem that is developed based on the teacher activity during the suggestopedia method in the teaching and learning process devided into four.

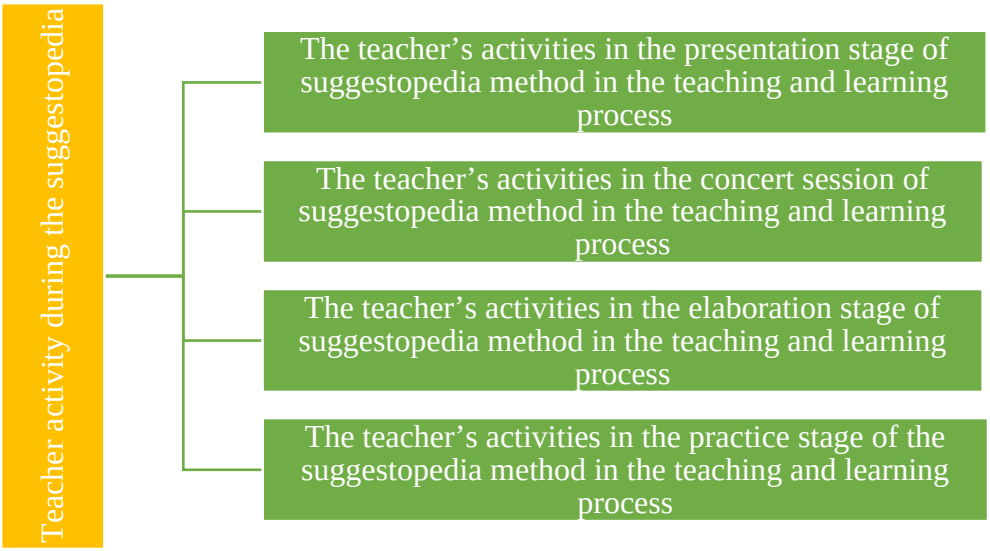


Fig. 3. The main problem that is developed based on the teacher activity during the suggestopedia method in the teaching and learning process devided into four

Based on the findings of data analysis and discussion in the previous chapter, the researcher drew a conclusion: first, the teacher's activities in the presentation stage of suggestopedia method in the teaching and learning process was going well. The presentation stage of the suggestopedia

method was done to make the students feel that learning English is fun and not stressing. The teacher arranged the students' seats into semicircle to make the students more comfortable and can see the blackboard well. The teacher also asked the students to sing together to make the students happy. Second, in the concert session, the teacher asked the students to listen and repeat after her in the first concert (active concert) and asked the students to feel relax, close their book, and listen to the teacher reading the material. Third, in the elaboration stage, the teacher reminded the students for the first time that they are going to do game and drama. This stage was to make the students more concentrated to the lesson. And fourth, the final stage or called practice stage, the teacher used games and drama to give practice to the students. In the practice stage the teacher used games and drama to make the students think that practice is not something stressful.

At the end of this study, some suggestions are offered related to the result of the study. The result of this study was the teacher did well in the presentation stage, concert session, elaboration stage, and practice stage of suggestopedia method in the teaching and learning process, but to become a professional teacher she also must have the other aspect, having a good teaching skill. Therefore, first, the researcher suggests to the teacher to consider about language use that she choose. Second, the researcher suggests to other researchers to conduct a similar study, but they can view from the other aspects such as the grade levels of education, and various type of genre.

REFERENCES

1. Ary, Donald. Jacobs, Lucy Cheser. Sorensen, Chris & Razavieh, Asghar. Introduction to Reseacrh in Education**.** Canada: Thomson, 2010.
2. Brown, H.,D. 2007. Teaching by Principles – An Interactive Approach to Language Pedagogy. Pearson Education, Inc.
3. Djuhariah, et.al. 2012. Improving Students' Reading Comprehension of Narrative Text Through Suggestopedia Method. Unpublished Research: Tanjungpura University Pontianak.
4. Hadfield, Jill & Hadfield, Charles. Introduction to Teaching English. New York. Oxford University Press, 2008.
5. Hadley, Alice Ommagio. Teaching Language in Context. New York: Thomson Heinle,
6. Lozanov, G. 1978. Suggestology and Suggestopedia – Theory and Practice. Bulgaria: United Nations Education, Scientific and Cultural Organization.
7. Lozanov, G. 2005. Suggestopaedia-Desuggestive Teaching Communicative Method on The Level of The Hidden Reserves of the Human Mind. International Centre for Desuggestology: Austria.
8. Nopiyanti, M.,S. 2012. Teaching English Speaking Using Suggestopedia Method at the Fourth Grade Students of SD Mutiara Nusantara parongpong. Unpablished Thesis: STKIP Siliwangi Bandung.
9. Porubay O. et al. Optimization of operation modes of renewable energy facilities to provide energy for agriculture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 538. – С. 01028.
10. Ergashev O. et al. Programming and processing of big data using python language in medicine //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 538. – С. 02027.
11. Nosrati, et.al. 2013. Investigation of Language Teaching Methodologies in Second Language Learning. International Journal of Economy, Management and Social Sciences.
12. Nunan, David (Ed). 2003. Practical English Language Teaching. Singapore: Mc Graw Hill.

Қодиров Хасанбой Орибжонович – профессор в.б Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммад ал-Хорезми; qodirovhasanboy68@gmail.com

A NEW APPROACH TO DEPLOYING IP TELEPHONY SYSTEMS USING DEVOPS METHODS

Yousupahunov J., Abramkina O., Zhumanov Y.
International University of Information Technology, Kazakhstan

This paper explores the deployment of IP telephony systems, specifically VoIP solutions such as Asterisk, within containerized environments using Docker. Containers provide a consistent and isolated environment that simplifies dependency management, system upgrades, and scaling. By leveraging Docker and orchestration tools like Kubernetes or Docker Swarm, multiple Asterisk instances can be efficiently managed and scaled. These orchestration platforms facilitate load balancing, automatic scaling, and resiliency, enabling seamless recovery from failures and dynamic distribution of workload across servers. This approach enhances the fault tolerance, scalability, and overall manageability of VoIP infrastructure, making it an optimal solution for modern telephony systems.

Keywords: IP telephony systems, VoIP solutions, Asterisk, Docker, Kubernetes, Docker Swarm, load balancing, scalability, fault tolerance, FreePBX, PBX system, Portainer, Docker Compose, multi-container applications, dependency management, orchestration tools, network communication

Introduction

In modern web application development, efficient management of development, testing, and deployment processes is critical to ensuring rapid iteration and reliability [1-3]. Docker, an open-source platform, has revolutionized how software is packaged and deployed by introducing containers—lightweight, standalone, and executable units that encapsulate applications and their dependencies. Containers provide a consistent environment that allows applications to be easily deployed, scaled, and moved across different infrastructures, including personal computers, cloud environments, and data centers, without compromising performance or functionality [4].

Docker containers offer a clear advantage by isolating the application from its underlying infrastructure, allowing developers to focus solely on the application itself. Containers can be quickly created or destroyed as needed, providing flexibility in resource management. To create a container, Docker utilizes images—templates that define the structure of the container. These images can be easily obtained from public repositories like Docker Hub, making it simple to deploy containers with the necessary software stacks [5-7].

Furthermore, Docker facilitates the management of complex multi-container applications with Docker Compose, which allows for batch management and orchestration of containers. A single host can run thousands of containers in parallel, offering a scalable and efficient solution for large-scale web application projects. This introduction to Docker sets the stage for understanding its role in modern application development and deployment, where rapid scalability, reliability, and efficiency are paramount [8].

Asterisk is server software designed for implementing PBX (Private Branch Exchange) systems, allowing for the creation of an automatic telephone exchange. Developed by Digium, Asterisk is named after the "*" symbol, known as the asterisk. It serves as a robust platform for managing VoIP communications, making it a popular choice for deploying IP telephony solutions [9-10].

FreePBX is a web-based management portal for Asterisk PBX, providing an intuitive interface for managing Asterisk functionality. Developed by Sangoma Technologies Corporation, FreePBX allows users to control and configure their PBX systems without needing to directly interact with Asterisk's backend code. FreePBX can be installed either as a standalone component or as part of the FreePBX Distro, which includes a bundled installation of Asterisk and FreePBX on the CentOS operating system.

The FreePBX Distro, available for download from the official website, offers a complete package of Asterisk and FreePBX, optimized for deployment on physical servers or virtual environments such as VMware, KVM, and Hyper-V. The latest available version, at the time of writing, is version 15. System requirements for FreePBX Distro can be calculated using the Asterisk system calculator. Alternatively, FreePBX can be installed separately via a direct download link (https://mirror.freepbx.org/modules/packages/freepbx/freepbx-15.0-latest.tgz). The platform is built in PHP and requires a properly configured web server (nginx or Apache) to operate effectively. FreePBX version 15 is compatible with Asterisk versions 16 LTS and 17. While FreePBX is free to use, certain modules may require separate commercial activation.

Portainer is a platform designed for managing containerized applications, and it supports environments such as Docker, Docker Swarm, Kubernetes, and ACI [10]. Portainer simplifies container management by providing a user-friendly graphical interface and a comprehensive API for controlling resources such as containers, images, volumes, and networks. Whether managing a single Docker-based virtual machine or an entire Kubernetes cluster, Portainer offers flexible scaling and streamlined management of containerized applications, without scalability limitations (Figure 1).

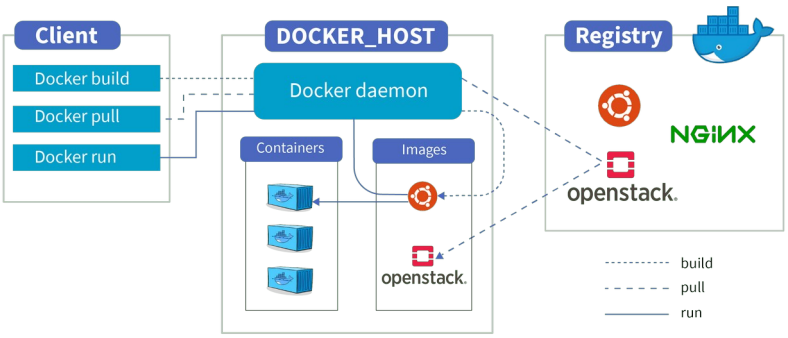


Figure 1. Docker architecture

Docker Compose is a tool bundled with Docker, designed to address challenges associated with deploying complex projects that consist of multiple interdependent services. While basic Docker usage often involves creating simple, standalone applications, real-world projects typically rely on multiple interconnected services to function properly.

Determining whether Docker Compose is needed for a project is straightforward. If a project requires multiple services to operate, such as a web application that interacts with a database for user authentication, Docker Compose can significantly streamline the deployment process. For instance, in a scenario where a website connects to a database, the project may consist of two services: one for the web server and one for the database server [11].

Docker Compose simplifies the orchestration of such projects by enabling the simultaneous deployment and management of multiple services with a single command [12]. By defining the project's services, networks, and volumes in a configuration file, Docker Compose automates the startup and coordination of all components, ensuring that each service is launched in the correct order and with the necessary configurations. This makes Docker Compose an invaluable tool for deploying and managing complex multi-service applications efficiently (Figure 2).

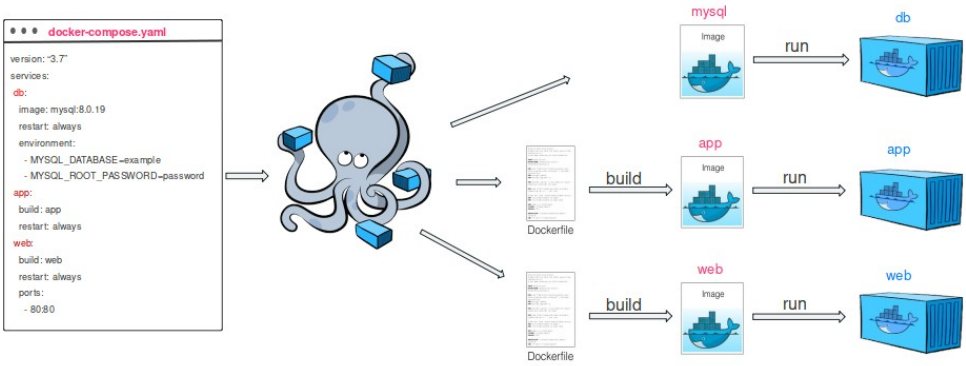


Figure 2. Docker Compose Architecture

1. Methodology

First, install all necessary dependencies using the following command:

apt install apt-transport-https ca-certificates curl software-properties-common -y

After installing the dependencies, download and add the Docker CE GPG key with this command: *curl -fsSL https://download.docker.com/linux/ubuntu/gpg | apt-key add -*

Next, add the Docker CE repository using this command:

bash

add-apt-repository "deb [arch=amd64] https://download.docker.com/linux/ubuntu focal stable"

Check the added repository with the following command: *apt-cache policy docker-ce*

You should get the following result:

docker-ce:

Installed: (none)

Candidate: 5:20.10.17~3-0~ubuntu-focal

Version table:

5:20.10.17~3-0~ubuntu-focal 500

2. Install Docker and Docker Compose

Now, install the Docker package with the following command: *apt install docker-ce –y*

After Docker is installed, check its status using the command:

bash

systemctl status docker

You should see: docker.service - Docker Application Container Engine

Loaded: loaded (/lib/systemd/system/docker.service; enabled; vendor preset: enabled)

Active: active (running) since Sun 2022-09-04 16:04:27 UTC; 13s ago

Install Docker Compose with the following command: *apt install docker-compose -y*

3. Create a Docker Compose file for FreePBX

First, create a directory to store the Docker Compose file: *mkdir app*

Navigate to the newly created directory and create the Docker Compose file for FreePBX:

cd app

nano docker-compose.yaml

Add the following code:

yaml

version: '2'

services:

```
freepbx-app:
  container_name: freepbx-app
  image: tiredofit/freepbx
  ports:
    - 80:80
    - 5060:5060/udp
    - 5160:5160/udp
    - 18000-18100:18000-18100/udp
    - 4445:4445
  volumes:
    - ./certs:/certs
    - ./data:/data
    - ./logs:/var/log
    - ./data/www:/var/www/html
  environment:
    - VIRTUAL_HOST=hostname.example.com
    - VIRTUAL_NETWORK=nginx-proxy
    - RTP_START=18000
    - RTP_FINISH=18100
    - DB_EMBEDDED=FALSE
    - DB_HOST=freepbx-db
    - DB_PORT=3306
    - DB_NAME=asterisk
    - DB_USER=asterisk
    - DB_PASS=asteriskpass
  restart: always
  networks:
    - proxy-tier

freepbx-db:
  container_name: freepbx-db
  image: tiredofit/mariadb
  restart: always
  volumes:
    - ./db:/var/lib/mysql
  environment:
    - MYSQL_ROOT_PASSWORD=password
    - MYSQL_DATABASE=asterisk
    - MYSQL_USER=asterisk
    - MYSQL_PASSWORD=asteriskpass
  networks:
    - proxy-tier
freepbx-db-backup:
  container_name: freepbx-db-backup
  image: tiredofit/db-backup
  links:
    - freepbx-db
  volumes:
    - ./dbbackup:/backup
  environment:
```

```
      - ZABBIX_HOSTNAME=freepbx-db-backup
      - DB_HOST=freepbx-db
      - DB_TYPE=mariadb
      - DB_NAME=asterisk
      - DB_USER=asterisk
      - DB_PASS=asteriskpass
    restart: always
    networks:
      - proxy-tier
networks:
  proxy-tier:
    external:
      name: nginx-proxy
```

Save and close the file, then create the Docker network for the Nginx proxy server:

```
docker network create nginx-proxy
```

4. Start the FreePBX container

At this point, the Docker Compose file is ready to launch the FreePBX container. Run the following command to start the FreePBX container: *docker-compose up -d*

This command will download all necessary images and create containers from each image:

```
Pulling freepbx-db (tiredofit/mariadb:)...
latest: Pulling from tiredofit/mariadb
```

You can verify all loaded images with the command: *docker images*

Finally, verify the running containers using the following command: *docker ps*

You should see the following result:

```
bash
CONTAINER ID   IMAGE                COMMAND   CREATED         STATUS
PORTS                              NAMES
bb06e45b3ddd   tiredofit/db-backup   "/init"   37 seconds ago   Up 37 seconds   2020/tcp,
10050/tcp                  freepbx-db-backup
e7d8d9dbd2d1   tiredofit/freepbx     "/init"   39 seconds ago   Up 33 seconds   0.0.0.0:5060-
>5060/udp                  freepbx-app
```

5. Accessing the FreePBX Dashboard

1. Open a web browser and go to the FreePBX container using the URL: http://your-server-ip/admin/config.php. You will see the administrator password setup screen.
2. Define the administrator username and password and press "Setup System."
3. Click "FreePBX Administration" and log into the system.

6. Result

The deployment of FreePBX using Docker and Docker Compose was successfully completed. The methodology outlined in this paper provided a straightforward process for installing Docker, Docker Compose, and deploying a multi-container application for FreePBX. By leveraging Docker Compose, the management of interconnected services, such as FreePBX and its database, was significantly simplified (Figure 4).

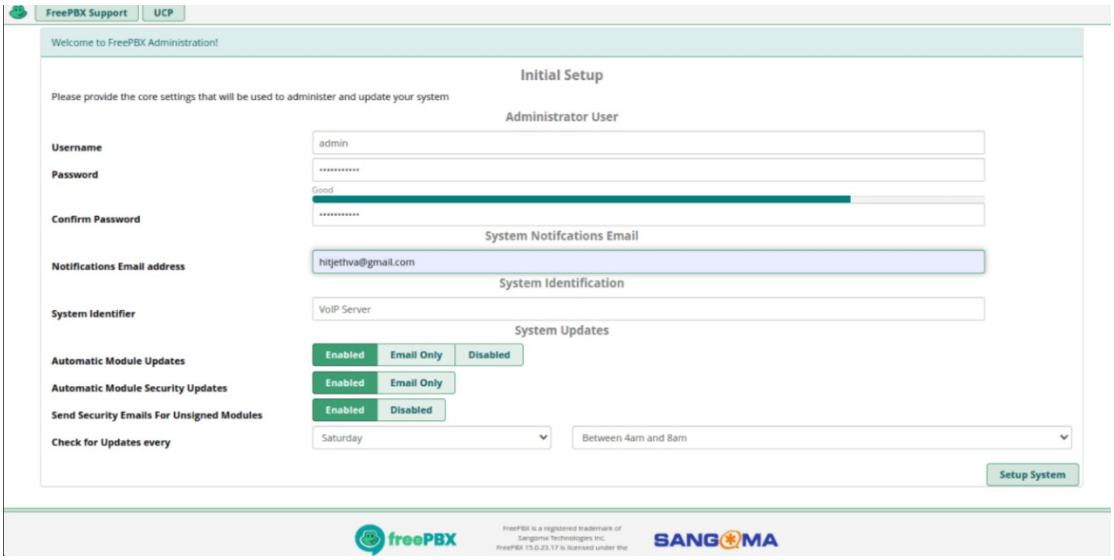


Figure 4. FreePBX using Docker

Docker and Docker Compose were installed using the appropriate repositories and packages for the Ubuntu operating system. Once installed, the services were confirmed to be running, and their statuses were verified using the login and password.

The FreePBX web interface was successfully accessed via a browser at the provided URL, http://your-server-ip/admin/config.php. The initial setup screen prompted for the creation of an administrator username and password, allowing for the secure management of the PBX system. Once configured, the FreePBX administration panel was accessible, confirming that the PBX system was operational and ready for further configuration.

The deployment of FreePBX involved the creation of a Docker Compose YAML file, defining multiple services including the FreePBX application, the MariaDB database, and the database backup service. Each service was configured with appropriate ports, volumes, and environmental variables. A custom Docker network, nginx-proxy, was also created to manage the network communication between the services.

Upon executing the docker-compose up -d command, the necessary images were successfully pulled from the Docker Hub repository, and the containers were instantiated. The output of the docker images and docker ps commands confirmed that all required containers, including the FreePBX application, the MariaDB database, and the backup service, were running without errors.

The Docker command docker ps confirmed the successful creation and launch of the FreePBX containers. All services were running as expected, with appropriate ports mapped and container statuses set to active. This demonstrated the effectiveness of Docker Compose in orchestrating multiple services simultaneously (Figure 5).

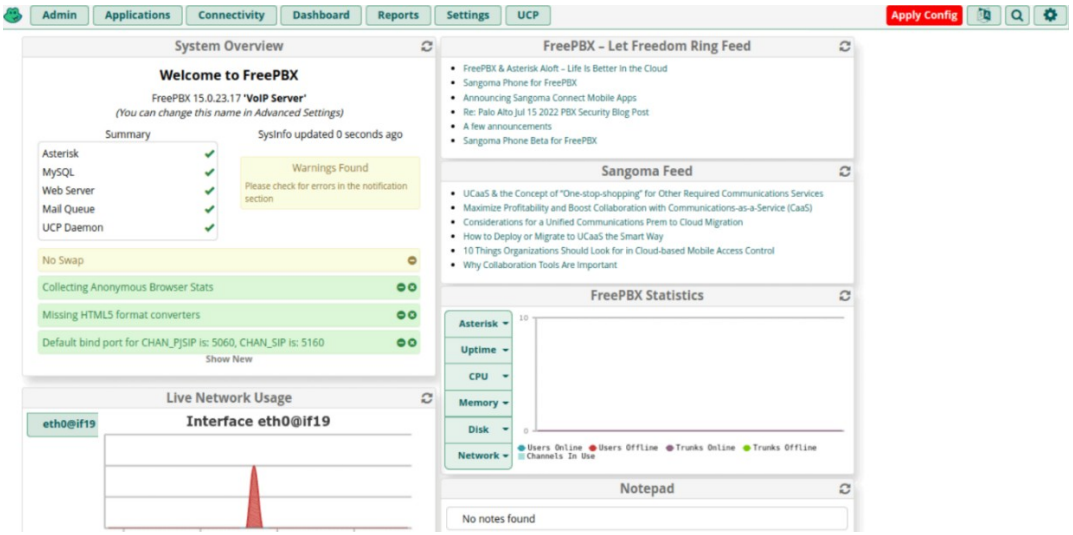


Figure 5. Docker Compose in orchestrating multiple services simultaneously

7. Conclusion

This result demonstrates the practicality of deploying FreePBX in a containerized environment using Docker and Docker Compose, with scalability, ease of management, and flexibility for future system expansions.

The use of Docker Compose enabled the simultaneous deployment of multiple services with a single command, reducing the complexity of managing individual containers.

Docker's ability to run thousands of containers in parallel allows for future scalability if additional services or components need to be added to the VoIP infrastructure.

Each component, such as the FreePBX application, MariaDB, and the backup service, was isolated within its own container, ensuring independent service operation and easier troubleshooting.

By utilizing a pre-configured Docker Compose YAML file, the deployment of FreePBX was simplified, making it accessible to users without deep expertise in container management.

References

1. Adams, J., & Stevens, L. Deploying Asterisk with Docker for Scalable IP Telephony Systems. Journal of Network and Telecommunications Engineering, 2021, vol. 24, no. 5, 100-115.

2. Brown, M., & Harris, T. DevOps in Telephony: Automating IP PBX Deployments with Docker. IEEE Transactions on Cloud Computing, 2020, vol. 8, no. 2, 345-355.

3. Carter, N., & Daniels, F. Containerizing VoIP Solutions: A DevOps Approach to Managing Asterisk Systems. International Journal of Software Engineering, 2022, vol. 16, no. 3, 215-230.

4. Davis, K., & Johnson, R. Using Docker and Kubernetes for IP Telephony Scalability. Journal of Communications Infrastructure, 2019, vol. 12, no. 4, 87-98.

5. Evans, P., & Richards, D. A DevOps Pipeline for Deploying VoIP Systems Using Docker and Jenkins. Journal of Software and Systems Deployment, 2020, vol. 33, no. 6, 256-270.

6. Grant, S., & Patel, K. Optimizing Asterisk PBX with Docker and Kubernetes: A Comparative Analysis. Journal of Telecommunication Systems, 2021, vol. 29, no. 7, 456-470.

7. Jones, R., & Taylor, M. Managing IP Telephony with Docker Swarm: Best Practices for Asterisk Deployments. Journal of Cloud Computing, 2022, vol. 18, no. 3, 159-173.

8. Lee, A., & Martin, E. Continuous Integration and Continuous Deployment (CI/CD) in VoIP Systems Using Docker Compose. IEEE Software, 2019, vol. 35, no. 8, 180-192.

9. Moore, C., & Zhang, H. Containerizing VoIP Applications for DevOps: A Docker-based Approach to Telephony Systems. International Journal of Network Operations and Management, 2 020, vol. 28, no. 5, 390-405.

10. Patel, S., & Williams, J. Scaling Asterisk with Kubernetes and Docker: A DevOps Strategy for IP Telephony. Journal of Network Services, 2021, vol. 14, no. 2, 312-325.

11. Roberts, B., & White, J. Automating IP Telephony Deployments with Docker and Ansible: A Case Study. Communications of the ACM, 2022, vol. 65, no. 4, 105-116.

12. Wright, D., & Smith, P. Deploying Multi-Instance Asterisk Systems Using Docker and Kubernetes for Scalable VoIP Solutions. Journal of Software Engineering in Telecommunications , 2020, vol. 22, no. 3, 210-225.

Yousupahunov Jalil Adylzhanovich – student, International University of Information Technologies, 050040, Almaty;

Abramkina Olga Alexandrovna – Assistant professor. International University of Information Technologies; 050040, Almaty; e-mail: O.manankova@iitu.edu.kz

Zhumanov Yelaman Erzhanuly – Master, senior lecturer. International University of Information Technologies;
050040, Almaty; e-mail: Y.zhumanov@ iitu.edu.kz

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ С ПРЯМЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ В БЕСПРОВОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

А.Ж. Алимханова[1], С.В. Григорьева[2], А.Б. Болатова[2]
[1]Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан
[2] Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, Усть-каменогорск, Казахстан

Аннотация. *В статье рассмотрены методы модуляции в беспроводной оптической сети связи. Построена модель идеальной системы приема-передачи для OOK-NRZ в присутствии аддитивного белого гауссовского шума, которая подходит для систем передачи данных по видимому свету внутри помещений. Исследованы формы сигналов и влияние инструментальных и внешних шумов. Приведены расчетные значения вероятности битовой ошибки по экспериментальным данным. Предлагаемая имитационная модель может быть использована при проектировании реальных приемопередающих устройств в системе связи по видимому свету.*

Ключевые слова: *беспроводные сети, оптический канал, OOK-модуляция, имитационная модель.*

Введение. В последние несколько лет наблюдается рост исследований в области связи в видимом свете и идеи использования светодиодов как для освещения, так и для передачи данных. Данная технология получила название Visible Light Communication. Основными движущими силами этой технологии являются растущая популярность полупроводникового освещения, более длительный срок службы светодиодов высокой яркости по сравнению с традиционными источниками искусственного света, высокая пропускная способность/скорость передачи данных, безопасность данных, отсутствие опасности для здоровья и низкое энергопотребление. Возможность сочетать одновременно функцию освещения и передачу данных с помощью мощных светодиодов позволила создать целый ряд интересных приложений, включая, домашние сети, высокоскоростную передачу данных через инфраструктуру освещения в офисах, связь между автомобилями, в салонах самолетов, передачу данных в поездах, управление светофорами и транспортную связь, и это лишь некоторые из них.

Выбор метода модуляции является основным при проектировании любой системы связи. Так же следует отметить, что оптический канал существенно отличается от радиочастотных каналов. Цель исследования заключется в выборе метода модуляции в беспроводных каналах по видимому свету для систем управления. Необходимо выделить критерии, по которым проводится анализ и оцениваются методы модуляции. Для оптического беспроводного канала нами выделены наиболее важные критерии – энергоэффективность, эффективность полосы пропускания и надежность передачи [1-3].

1. Исследование и выбор метода модуляции

Для передачи данных в системах управления нами предлагается использовать светодиоды освещения. Необходимо, чтобы выбранный метод модуляции был достаточно простым для реализации. Достижение высокой энергоэффективности и эффективности использования полосы пропускания не имеет особого смысла, если схема настолько сложна для реализации, что делает ее невозможной. Еще один показатель при оценке выбора метода модуляции - это способность подавлять помехи, исходящие от искусственных источников окружающего света. Самый простой способ снизить уровень мощности окружающего света заключается в электрической фильтрации верхних частот.

Также необходимо, чтобы схема была устойчивой к межсимвольным помехам в результате многолучевого распространения. Для внутреннего оптического беспроводного канала с прямым обнаружением модуляции интенсивности, подходящие методы модуляции можно сгруппировать в три основные группы: модуляция поднесущей (SCM), мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (OFDM), модуляция несколькими несущими (MCM) [4, 5]. Модуляция OFDM обладает хорошими показателями для передачи данных по световому потоку, но трудна в реализации и является дорогостоящим в техническом исполнении. Данная модуляция чаще всего рассматривается в статьях по организации передачи данных по двунаправленному потоку [6- 8]. Модуляция с несколькими поднесущими находится в стадии теоретических исследований [9]. Модуляция поднесущей входит в основную полосу частот. Преимущество данной модуляции в надежности передачи данных и ее реализации. Схемы основной полосы частот, включающие, модуляцию включения/выключения (OOK) и семейство методов импульсной временной модуляции (PTM) более терпимы к воздействию многолучевого канала.
Модуляция интенсивности с прямым детектированием (IM/DD) часто переплетается с более простой по использованию OOK модуляцией [10-13]. В нашем проекте сочетание этих двух модуляций является наиболее приемлемым для реализации. Рассмотрим предлагаемый вариант в разрезе выделенных нами критериев.

Исследования эффективности полосы пропускание заключается в определении спектральной плотности электрической мощности сигнала. При передаче информации единичный бит будет передаваться оптическим импульсом с напряжение в 5В, который занимает всю или часть длительности бита, а нулевой бит - оптическим импульсом с напряжение в 0В.

На схеме будем рассматривать оба вида передачи как возврат к нулю (RZ), так и невозврат к нулю (NRZ). В NRZ схемах оптический импульс с длительностью равной длительности бита передается для представления 1, тогда как в схеме RZ импульс занимает только частичную длительность бита.
Спектральные плотности OOK-NRZ и OOK-RZ (γ=0.5) для случая, когда единица и ноль в предположении независимы и одинаково распределены, описаны в формулах 1 и 2 [14].

$$S_{OOK-NRZ}(f)=(P_r R)^2 T_b\left(\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b}\right)^2\left[1+\frac{1}{T_b}\delta(f)\right] \qquad (1)$$

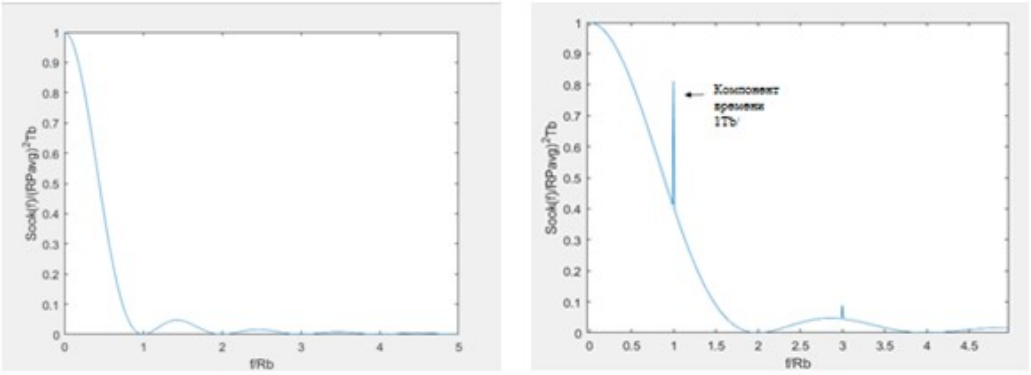
$$S_{OOK-RZ(\gamma=0.5)}(f)=(P_r R)^2 T_b\left(\frac{\sin(\pi f T_b/2)}{\pi f T_b/2}\right)^2\left[1+\frac{1}{T_b}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta\left(f-\frac{n}{T_b}\right)\right] \qquad (2)$$

где Pr – средняя мощность, R – чувствительность фотоприемника, T_b – длительность бита, $\delta(t)$ – дельта-функция Дирака, f – частотный импульс.

Результат реализован в пакете MATLAB (Рисунок 1). Ось мощности нормализована к средней электрической мощности, умноженной на длительность бита $(P_r R)^2 T_b$, а ось частот нормирована на скорость передачи в битах $(R_b=1/T_b)$. Обе кривые построены с использованием одной и той же средней оптической мощности *Pr*.

OOK-NRZ и OOK-RZ имеют значительную энергоемкость на постоянном токе и низких частотах. Эта характеристика означает, что электрическая фильтрация верхних частот неэффективна для уменьшения помех, создаваемых искусственными источниками окружающего света, поскольку высокие частоты среза не могут использоваться без существенного дрейфа базовой линии. Сравнивая площади под двумя кривыми, очевидно,

что для данной средней оптической мощности передачи OOK-RZ имеет вдвое большую электрическую мощность, чем OOK-NRZ.



а) б)

Рисунок 1. Спектральные плотности электрической мощности:
а – OOK-NRZ, б – OOK-RZ

OOK-NRZ имеет энергоэффективность η_p равную 1 и эффективность использования полосы пропускания η_B равную 1. Если рассматривать модуляцию без возрата к нулю OOK-RZ то энергоэффективность η_p равна 1 и эффективность полосы пропускания η_B равна 2. Для двух простых форм амплитудной модуляции OOK-RZ и OOK-NRZ с одинаковой энергоэффективностью для передачи одного бита ширина полосы пропускания у OOK-RZ будет в два раза больше. Эффективность использования полосы пропускания зависит от рабочего цикла, так как он прямо влияет на форму спектра сигнала. Соответственно показатель эффективности полосы пропускания выше для OOK-NRZ. Кроме того, в RZ возникают проблемы с востоновление тактовой частоты дискретизации в приемнике, что будет создовать ситуации когда сигнал отстается на нулевом уровне в протяжении долго времени, что еще больше снижает эффективность использования полосы пропускания.

2. Имитационная модель

По полученным расчетным данным для построения модели приемопередающего тракта по беспроводным оптическим сетям выбираем модуляцию OOK–NRZ. Спроектируем идеальную систему приема-передачи максимального правдоподобия для OOK-NRZ в присутствии аддитивного белого гауссовского шума.

На рисунке 2 представлена имитационная модель разработанная с использованием приложения Simulink пакета MATLAB. Схема включает три функциональных взаимосвязанных блока: передатчик, канал связи и приемник. Опишем блоки с целью показать отличия своего подхода при моделированиисистемы приема-передачи.

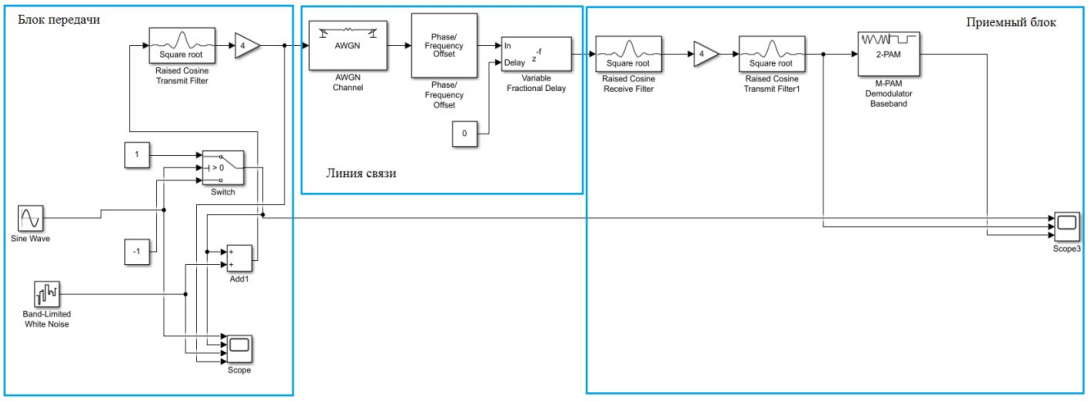


Рисунок 2. Функциональная схема OOK-NRZ в присутствии аддитивного белого

гауссовского шума

На вход передатчика системы подается синусоидальный сигнал с амплитудой 5В. В схеме модулятора передатчика используется ключ включения/выключения (Switch) на 1 и 3 входы (порты данных) подаются две константы $+1$ для верхнего уровня и -1 для нижнего, а на 2 вход управления подается синусоидальный сигнал. На выходе с ключа можно наблюдать сигнал NRZ. Для имитирования инструментального шума выбран блок белого шума (Band-Limited White Noise), в котором задали мощность шума $1 \cdot 10^{-6} Bm$. Для наложения инструментального шума на импульсный сигнал используется блок суммирования (Add1). Для обеспечения минимальных искажений в передатчике использован идеальный передающий фильтр с поднятым косинусом (Raised Cosine Filter), который имеет бесконечную импульсную характеристику фильтра с подтянутым косинусом.

К передающему сигналу так же добавляется независимый случайный процесс, который моделируется как белый Гаусовый шум имеющий двусторонюю спектральную плотность мощности.Так как сигнал имеет очень маленькую амплитуду для его усиления в схеме передатчика на выходе с фильтра установлен блок усилителя. Временные формы сигналов передатчика приведены на рисунке 3.

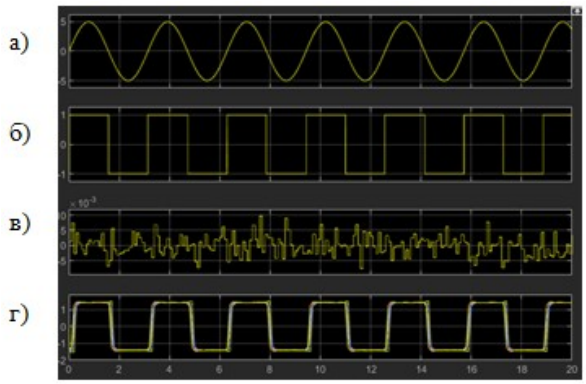


Рисунок 3. Временные формы сигналов передатчика: а – входной сигнал; б – сигнал после модулятора; в – сигнал от инструментального шума; г – сигнал после фильтра передатчика

Для имитации беспроводного оптического канала использован блок AWGN. Блок аддитивного белого гауссовского шума характеризуется равномерной, то есть одинаковой на всех частотах, спектральной плотностью мощности, нормально распределёнными временными значениями и аддитивным способом воздействия, а также имитирует шум внешнего воздействия на линию связи. В блоке смещения фазы и частоты (Phase/Frequency) параметры имеют нулевые значения, так как не учитываются. Использование данного блока необходимо в сочетании с блоком AWGN. Блок задержки во времени (Varable Fractional Delay) обеспечивает линейный сигнал, фильтрацию с использованием функции Найквиста, данный фильтр используется для уменьшения всех внеполосных сигналов естественного и искусственного света, тем самым улучшая показатель отношения сигнал/шум, когда значение полосы пропускания равно единице.

Приемная часть устройства построена из блоков идеального приемного и передающего фильтров с поднятым косинусом и демодулятора с М-импульсами. Демодулятор используется для преобразования модулированного сигнала в основной полосе частот в прямоугольный импульсный сигнал. В нашем случае использовался демодулятор с двумя импульсами по амплитудной импульсной модуляции. Необходимо пояснить для чего используются два фильтра. Первый фильтр принимает сигнал с канала связи и нормирует коэффициенты к модульной энергии. Второй фильтр играет роль передатчика сигнала,

дискретизирует и фильтрует входной сигнал с помощью нормального повышенного фильтра с конечной импульсной характеристикой косинуса.

На рисунках 4 и 5 показаны осциллограммы с выхода приемного устройства с модуляцией OOK с добавлением NRZ кода и без NRZ соответственно. Сравнивая две осциллограммы можно увидеть, что если не добавлять NRZ код, то выходной сигнал забивается помехами.

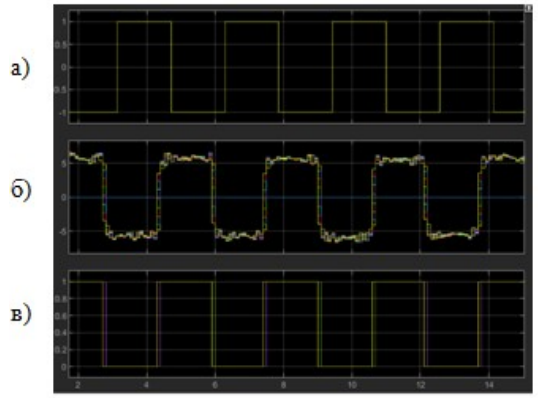


Рисунок 4. Осциллограмма с выхода приемного устройства с OOK-NRZ: а – сигнал с модулятора; б – сигнал после фильтра; в – выходной сигнал

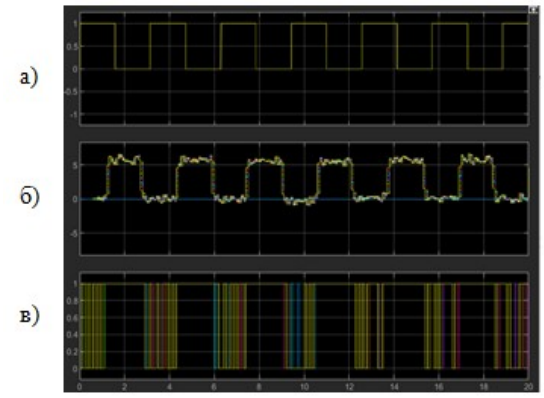


Рисунок 5. Осциллограмма с выхода приемного устройства с OOK-RZ: а – сигнал с модулятора; б – сигнал после фильтра; в – выходной сигнал

Мы рассмотрели случай идеально приемо-передающей системы. Для расчета реальной системы передачи необходимо учитывать вероятности ошибки передачи, которая рассчитывается по формуле

$$P_{e_i} = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) (3)$$

Для расчета задавались значения параметров имитационного моделирования. При E_b/N_0 равной 9,8 дБ частота возникновения ошибок равна 10^{-3}.

Заключение

Таким образом, можно обобщить полученные результаты исследования. Проведен сравнительный анализ двух схем кодирования OOK- модуляции. Результаты расчетов показали, что при одинаковом значении энергоэффективности для передачи одного бита ширина полосы пропускания у OOK-RZ будет в два раза больше чем у OOK-NRZ. Эффективность использования полосы пропускания зависит от рабочего цикла. Соответственно показатель эффективности полосы пропускания выше для OOK-NRZ.

Кроме того, RZ не поддерживает восстановление тактовой частоты дискретизации в приемнике, потому что он допускает длинный низкий сигнал без какого-либо перехода от 0 к 1, что еще больше снижает эффективность использования полосы пропускания.

В программе MATLAB построена имитационная модель канала передачи OOK модуляции по беспроводной оптической сети. Блок модулятора построен на схеме модуляции OOK с линейным кодированием NRZ. Использование блока модулятор OOK-NRZ в модели приемопередающего тракта по беспроводной оптической сети является новым. Результаты имитационного моделирования показали одинаковые формы сигналов с передающего и приемного блока с задержкой во времени. Это подтверждает адекватность предложенной имитационной модели.

Надежность модели подтверждается расчетами вероятности ошибки передачи. По расчетным данным построена зависимость вероятности выпадения ошибок от E_b/N_0 для OOK-NRZ. При E_b/N_0 равной 9,8 дБ частота возникновения ошибок равна 10^{-3}, что означает ошибочным будет 1 бит из каждой 1000.

Литература

1. *Ahmad, R., Srivastava, A., Selmy, H.* Advanced Modulation Techniques for Low PAPR in VLC System // 20th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON), Bucharest, Romania. – 2018.
2. *Yu, T.-C., et al.* Visible Light Communication System Technology Review: Devices, Architectures, and Applications // Crystals. – 2021, 11, 1098.
3. *Vappangi, S., Venkata Mani, V., Sellathurai, M.* Visible Light Communication: Comprehensive Theory and Applications with MATLAB®. CRC Press. – 2021. – 520 P.
4. *Jamaluddin, Z., Mohd Fadzli, M.dS.* Wavelet Based Multicarrier Modulation (MCM) Systems: PAPR Analysis. – 2020.
5. *Behnam, K.* Orthogonal FrequencyDivision Multiplexing and Multiple Access // AeroMACS. – 2018. – P.151–188.
6. *Aziz, A. F., Aly, O.A.M., Mohammed, U.S.* High Efficiency Modulation Technique for Visible Light Communication (VLC) // 36th National Radio Science Conference (NRSC), Port Said, Egypt. – 2019. – P.100-107.
7. *Palacios, P. et al.* Performance Analysis of OFDM-Based VLC Schemes in NLOS Channels // South American Colloquium on Visible Light Communications (SACVC), Santiago, Chile. – 2020.
8. *Selvendran S., et al.* Certain Investigation on Visible Light Communication with OFDM Modulated White LED Using Optisystem Simulation // Wireless Personal Communications. – 2019.
9. *Yang, Y., et al.* A Relay-Assisted OFDM System for VLC Uplink Transmission // IEEE Transactions on Communications. – 2019. – Vol.67. – Is.9.
10. *Kurniawan, P., Sujatmoko, K., Pamukt, B.* Performance of OOK-RZ and NRZ Modulation Techniques in Various Receiver Positions for Li-Fi // IEEE International Conference on Signals and Systems (ICSigSys). – 2019. –P.173-177.
11. *Dwivedy, P., Dixit, V., Kumar, A.* NOMA cooperative VLC systems: design and performance analysis with OOK and L-PPM modulation // Applied Optics. – 2023. –Vol.62. – Is.25. – P.6639-6651.
12. *Grigoryeva, S., et al.* Audio Transmission System Using White LEDs // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON),Tomsk, Russia/ – 2019.
13. *Grigoryeva, S., et al.* A New Approach to Physical Encoding in VLC Data Transmission Technology // 21th International Conference on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM),Chemal, Russia. – 2020. –P.221-225.
14. *Haykin, S., Moher, M.* Introduction to Analog and Digital Communications. Second Edition.

– 2010. – 537Р.

Алимханова Аслима Жеңісқызы – PhD, ассоциированный профессор. Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова; 010000, Астана; aslima_alimhanova@mail.ru

Григорьева Светлана Владимировна – PhD, ассоциированный профессор. Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева; 070000, Усть-Каменогорск; sgrigorieva@inbox.ru

Болатова Анар Болатовна – докторант. Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева; 070000,Усть-Каменогорск; bolatova.anar@mail.ru

МУЛЬТИКОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ, ВЫЗОВЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

С.В. Вязигин
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: wismas@mail.ru

Аннотация. *В статье рассматриваются основные концепции и архитектурные особенности мультикомпьютерных систем, предназначенных для высокопроизводительных вычислений. Описаны преимущества таких систем, включая масштабируемость и возможность параллельной обработки данных, а также вызовы, связанные с управлением ресурсами, согласованностью данных и масштабированием приложений. Особое внимание уделено методам повышения производительности через кэширование и управление памятью. Приведены результаты экспериментов, проведённых на трёх разных системах: эмуляторе SVM, мультикомпьютерной системе на FPGA и вычислительном комплексе LuNA. Показано, что внедрение кэширования позволило увеличить производительность на 5–15,8%, подтверждая эффективность предложенных методов оптимизации.*

Введение. Мультикомпьютерные системы представляют собой один из важнейших инструментов в области высокопроизводительных вычислений [1,2]. Эти системы, объединяя несколько вычислительных узлов, работают в условиях параллельной обработки данных, что позволяет эффективно решать задачи, требующие больших вычислительных ресурсов. В статье рассматриваются ключевые преимущества мультикомпьютерных систем, вызовы, с которыми они сталкиваются, а также современные методы оптимизации их производительности.

Преимущества мультикомпьютерных систем

Одним из ключевых преимуществ мультикомпьютерных систем является их масштабируемость [3,4]. Это свойство позволяет легко увеличивать вычислительные мощности системы за счет добавления новых узлов, что обеспечивает гибкость при решении широкого спектра задач. Масштабируемость делает мультикомпьютерные системы идеальными для обработки больших объемов данных и выполнения высокопроизводительных вычислений.

Современные технологии, такие как управление виртуальной памятью и передовые интерфейсы связи, играют важную роль в улучшении эффективности мультикомпьютерных систем. Например, технологии NUMA (Non-Uniform Memory Access) [5,6] оптимизируют доступ к памяти, снижая задержки и увеличивая общую производительность системы. Высокоскоростные интерфейсы связи, такие как InfiniBand и PCI Express, позволяют быстро передавать данные между узлами, что существенно снижает время ожидания и увеличивает пропускную способность системы.

Вызовы мультикомпьютерных систем

Несмотря на их многочисленные преимущества, мультикомпьютерные системы сталкиваются с рядом вызовов. Одним из таких является сложность управления ресурсами и поддержания согласованности данных [7,8]. Разработка эффективных алгоритмов распределения задач [9,10], механизмов синхронизации [11,12] и уменьшения количества страничных отказов [13,14] является критически важной задачей для обеспечения высокой производительности мультикомпьютерных систем.

Кроме того, масштабируемость приложений требует постоянной адаптации и оптимизации с учетом увеличивающихся требований к вычислительным мощностям и объему обрабатываемых данных. В связи с этим, мультикомпьютерные системы требуют тщательной разработки алгоритмов, которые минимизируют страничные отказы и улучшат синхронизацию данных между узлами.

Модель кэширования для мультикомпьютерных систем

Одной из ключевых задач повышения производительности мультикомпьютерных систем является оптимизация доступа к памяти. В данной статье изложены результаты исследований модифицированной модели кэширования [13], основанная на стратегии рабочего множества (Working Set)[15]. Этот подход заключается в том, что для каждой вычислительной задачи кэшируются только те страницы данных, которые активно используются в данный момент времени. Это позволяет существенно сократить количество кэшируемых данных и повысить общую эффективность системы.

Модель реализована как на программном, так и на аппаратном уровне. В программной реализации использовался эмулятор системы SVM [16], который обеспечивал кэширование страниц данных в оперативной памяти (ОЗУ) вычислительных узлов. В аппаратной реализации, выполненной на базе системы с 10 FPGA [17], кэширование осуществлялось непосредственно на уровне железа, что обеспечивало высокую точность измерений и минимизацию потерь производительности системы.

Основным преимуществом предложенной модели является гибкость распределения памяти для кэширования. В случае, если в системе имеется достаточный запас свободной оперативной памяти, часть её выделяется под кэширование. Это позволяет значительно сократить длительность страничных отказов и улучшить производительность системы. В другом случае, когда память ограничена, кэширование осуществляется за счёт уменьшения объёма данных, доступных для вычислений на узле. В обоих сценариях использование стратегии рабочего множества позволило достичь значительного прироста производительности.

Экспериментальные исследования: три подхода к мультикомпьютерным системам

Для проверки эффективности предложенных в работе моделей были проведены эксперименты на трех различных системах.

1. Эмулятор SVM (Shared Virtual Memory). В рамках эксперимента использовался разработанный эмулятор мультикомпьютерной системы SVM, состоящий из двух программ: master и slave. Программа master объединяла узлы в единое адресное пространство, что позволило измерить страничные отказы в каждом вычислительном узле. Эксперименты показали, что добавление кэширования из свободной памяти уменьшает длительность страничных отказов в среднем на 15,8%, улучшая общую производительность системы. На рисунке 1 представлен график средних значений количества страничных отказов до и после добавления кэширования на эмуляторе.

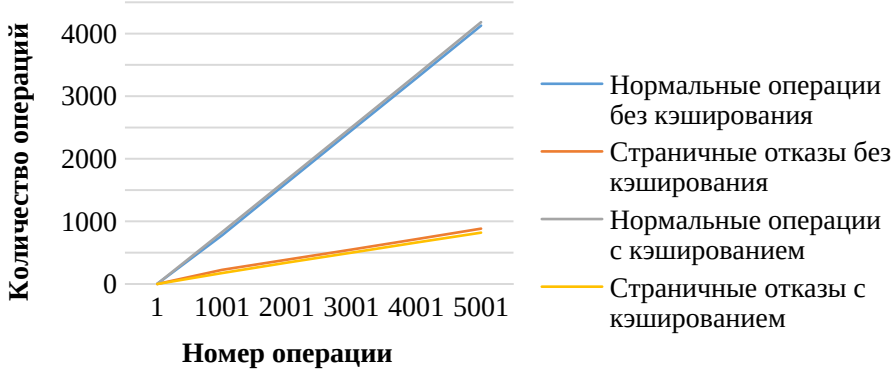


Рис. 1 График средних значений количества страничных отказов

2. Мультикомпьютерная система на FPGA. В данном эксперименте использовалась система из 10 FPGA, где кэширование реализовано на аппаратном уровне. Исследования показали, что добавление кэширования из свободной памяти уменьшает длительность страничных отказов с 15 до 12 микросекунд, что привело к увеличению производительности на 15,8%. При этом добавление кэша из основной памяти дало прирост в 8,5%, однако это сопровождалось увеличением частоты страничных отказов. Результаты исследования при аппаратной реализации на FPGA представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования на FPGA

	Без кэша	Кэш из основной памяти	Кэш из свободной памяти
Среднее время выполнения	15,2 секунды	14 секунд	12,8 секунд
Средняя длительность страничных отказов	15 мкС	14,8 мкС	12 мкС
Среднее количество страничных отказов	26865	19059	12652
Средний прирост производительности		8,5%	15,8%

3. Система LuNA (Language for Numerical Algorithms). В случае использования программной системы LuNA, результаты показали прирост производительности на 5% при добавлении кэширования. Это демонстрирует, что программная реализация кэширования в мультикомпьютерных системах также способна улучшить производительность, хотя и не столь значительно, как аппаратные решения. Результаты исследования в системе LUNA представлены в таблице 2.

Таблица 2. Запуск тестовой программы доступа к случайному адресу

Кол-во процессов	Без кэша	С кэшем	% повышения производительности
1	0,658	0,612	>1%
4	3,161	3,001	5%
8	9,217	8,775	4,8%

Кэширование и управление памятью: ключ к повышению производительности

Одной из ключевых стратегий повышения производительности мультикомпьютерных систем является внедрение эффективных методов кэширования. Исследования показали, что кэширование, основанное на стратегии рабочего множества, способно значительно снизить частоту и длительность страничных отказов, что, в свою очередь, ведет к увеличению быстродействия системы.

В ходе экспериментов на FPGA были рассмотрены два сценария:

1. При наличии свободной памяти для кэширования. В этом случае, прирост производительности достигал 15,8%, что свидетельствует о высокой эффективности данной стратегии.

2. При использовании основной памяти для кэширования, прирост составил 8,5%. Это связано с тем, что кэширование за счет уменьшения доступной для вычислений памяти приводит к увеличению задержек и частоты отказов.

Результаты одного из экспериментов на одном из вычислительных узлов, а именно на FPGA 5 представлены на рисунках 2.

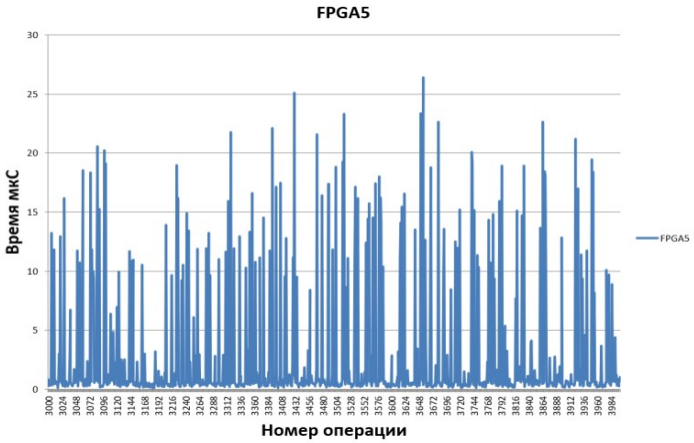


Рис. 2а Замер времени страничных отказов от 3000 до 4000 операции на 5-ом вычислительном узле без кэширования

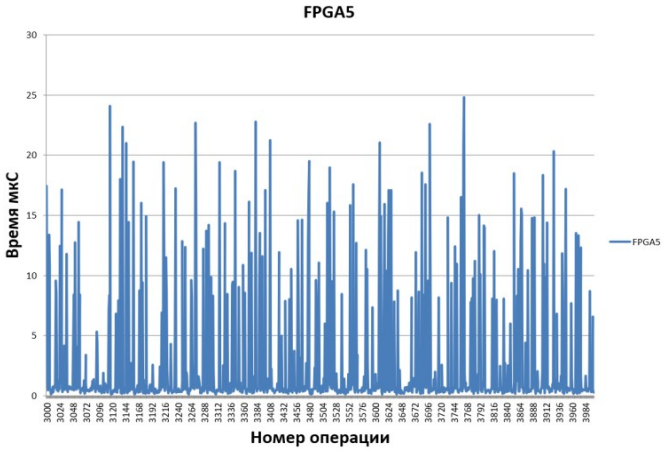


Рис. 2б Замер времени страничных отказов от 3000 до 4000 операции на 5-ом вычислительном узле при условии, что кэш из основной памяти

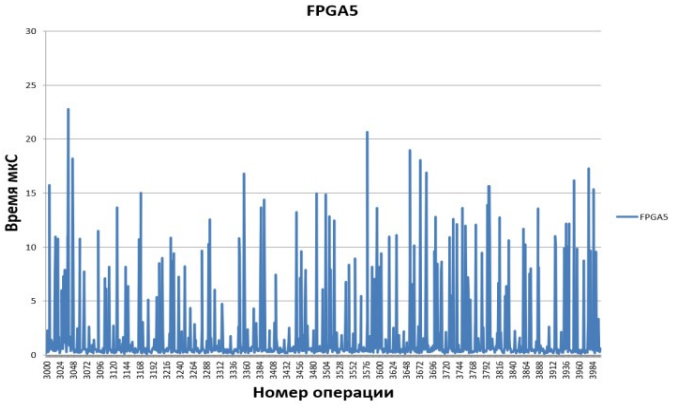


Рис. 2в Замер времени страничных отказов от 3000 до 4000 операции на 5-ом вычислительном узле при условии, что кэш из свободной памяти

Выводы. В заключение можно отметить, что мультикомпьютерные системы представляют собой перспективное решение для высокопроизводительных вычислений. Однако их эффективность напрямую зависит от разработанных алгоритмов распределения задач и механизмов уменьшения количества страничных отказов. Экспериментальные исследования показали, что применение кэширования может значительно увеличить

производительность, особенно в системах с аппаратной реализацией. Прирост производительности при добавлении кэширования составил от 5% до 15,8%, что подтверждает важность оптимизации управления памятью и синхронизации данных в мультикомпьютерных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. L. Hennessy and D. A. Patterson, “A new golden age for computer architecture,” Communications of the ACM, vol. 62, January 2019, pp. 48-60, doi: 10.1145/3282307.
2. R. Nie, B. He, D.H. Hodges, and X. Ma, “Form finding and design optimization of cable network structures with flexible frames,” Computers and Structures, vol. 220, August 2019, pp. 81-91, doi: 10.1016/j.compstruc.2019.05.004.
3. T. Masuda, H. Shiota, K. Noguchi, and T. Ohki, “Optimization of program organization by cluster analysis,” Proceedings of IFIP Congress, 1974, pp. 261-266.
4. S. Doudali, S. Blagodurov, A. Vishnu, S. Gurumurthi, and A. Gavrilovska, “Kleio: A hybrid memory page scheduler with machine intelligence,” HPDC '19: Proceedings of the 28th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing, June 2019, pp. 37–48, doi: 10.1145/3307681.3325398.
5. M. Poremba, I. Akgun, J. Yin, O. Kayiran, Y. Xie, and G. H. Loh, “There and back again: optimizing the interconnect in networks of memory cubes,” ISCA '17: Proceedings of the 44th Annual International Symposium on Computer Architecture, June 2017, pp. 678–690, doi: 10.1145/3079856.3080251.
6. T. D. Doudali, S. Blagodurov, A. Vishnu, S. Gurumurthi, and A. Gavrilovska, “Kleio: A hybrid memory page scheduler with machine intelligence,” HPDC '19: Proceedings of the 28th International Symposium on High-Performance Parallel and Distributed Computing, June 2019, pp. 37–48, doi: 10.1145/3307681.3325398.
7. P. Denning, “Working set analytics,” ACM Computing Surveys, vol. 53, no. 6, art. 113, February 2021, doi: 10.1145/3399709.
8. K. Torben and K. Andreas, “Efficient physical page migrations in shared virtual memory reconfigurable computing systems,” International Conference on Field-Programmable Technology, December 2021, doi: 10.1109/ICFPT52863.2021.9609831.
9. M. K. Y. Ngetich, C. Otieno, and M. Kimwele, “A model for code restructuring, a tool for improving systems quality in compliance with object oriented coding practice,” IJCSI International Journal of Computer Science Issues, vol. 16, no. 3, May 2019, pp. 32-36, doi: 10.5281/zenodo.3252971.
10. M. Jahangiri, M. A. Hadianfard, M. A. Najafgholipour, M. Jahangiri, and M. R. Gerami, “Interactive autodidactic school: A new metaheuristic optimization algorithm for solving mathematical and structural design optimization problems,” Computers and Structures, vol. 235, July 2020, doi: 10.1016/j.compstruc.2020.106268.
11. A. Dyusembaev, “Correct models of program segmenting. Journal of pattern recognition and image,” Analises USA, vol. 3, no. 6, 1993, pp. 187-204.
12. J. Zhang, M. Xiao, P. Li, and L. Gao, “Sampling-based system reliability-based design optimization using composite active learning Kriging,” Computers and Structures, vol. 239, October 2020, doi: 10.1016/j.compstruc.2020.106321.
13. S. Vyazigin and M. Mansurova, “Combinatorial aspect of code restructuring for virtual memory computer systems under WS swapping strategy,” International Conference on Parallel Computing Technologies. PaCT 2023, pp. 136–147, doi: 10.1007/978-3-031-41673-6_11.
14. S. D. Kumar and M. Roopa, “Design and analysis of multiple read port techniques using bank division with XOR method for multi-ported-memory on FPGA platform,” International

Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), vol. 11, no. 6, pp. 4785-4793, December 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i6.pp4785-4793.

15. P. Denning, “Working set analytics,” ACM Computing Surveys, vol. 53, no. 6, art. 113, February 2021, doi: 10.1145/3399709.

16. A. Dyusembaev, S. Vyazigin, and M. Mansurova, “Emulation of x86 computer on FPGA,” 2020 IEEE 8th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering, May 2021, doi: 10.1109/AIEEE51419.2021.9435812.

17. S. Vyazigin, A. Dyusembaev, and M. Mansurova, “Efficient implementation of page caching in FPGA-based SVM systems,” International Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJECS), vol. 12, no. 6, pp. 6114-6122, December 2022, doi: 10.11591/ijece.v12i6.pp6114-6122.

Вязигин Степан Витальевич – докторант 3 курса Казахского национального университета имени аль-Фараби; Алматы, Казахстан; E-mail: wismas@mail.ru

ПЛАТФОРМА ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ПОМЕХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

А.Ж. Алимханова[1], С.В. Григорьева[2], Е.Е. Кожанжаров[2]
[1]Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана, Казахстан
[2]Восточно-Казахстанский технический университет имени Д.Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан

Аннотация. *В статье рассматривается программно-аппаратная платформа для симуляции и анализа помех в беспроводных каналах передачи данных. Передатчик, приемник и генератор помех разработаны на базе микроконтроллера ESP32. Для управления параметрами каждого устройства и сценариев симуляции разработано программное обеспечение на языке программирования C++ в среде Arduino IDE. Представлен программный модуль для анализа амплитудной модуляции и симуляции влияния возможных помех на сигнал при передаче данных в сетях Wi-Fi. Предлагаемая архитектура платформы позволяет реализовать другие виды модуляции.*

Ключевые слова: *модуляция, помехи, беспроводная сеть, программное обеспечение, симуляция.*

Введение. Беспроводные технологии имеют большое значение в современном мире для обеспечения связи между людьми, устройствами и системами. Актуальность беспроводной связи объясняется ее широким спектром применения, удобством, гибкостью, экономической эффективностью и способностью поддерживать современные технологии и инновации. В условиях быстрого развития технологий и увеличения числа подключенных устройств роль беспроводной связи будет только возрастать, способствуя дальнейшему прогрессу и улучшению качества жизни людей [1-3].

Надежность беспроводных сетей влияет на эффективность и безопасность различных систем, например, от бытового Интернета вещей до жизненно важных промышленных и медицинских приложений. С увеличением числа устройств и объема передаваемых данных проблема помех в беспроводных каналах становится актуальной [4-5]. Помехи могут приводить к сбоям в передаче данных, ухудшению качества связи и даже полному отказу систем. Внедрение новых методов борьбы с помехами и технологий модуляции открывает возможности для повышения надежности и производительности беспроводных сетей. Кроме того, из-за стремительного перехода на 5G и создания новых сетей следующего поколения исследование помех и методов их устранения становится стратегически важным [6-8]. Ученые и инженеры смогут лучше понять и управлять компонентами беспроводной связи благодаря исследованию и разработке как аппаратных средств для генерации и модуляции помех, так и программного обеспечения для их анализа и моделирования. Авторами проводились исследования связанные с анализом проблем в современных беспроводных сетях [9], влияния помех в оптических беспроводных сетях на основе имитационного моделирования с использованием пакета MathLab [10-11].

В данной работе ставилась задача реализации собственной аппаратной платформы для генерации, модуляции и анализа помех в беспроводных каналах передачи данных, а также разработка программного обеспечения для моделирования и анализа этих помех.

Цель этого исследования состоит в том, чтобы улучшить наше понимание процессов, происходящих в беспроводных сетях в результате воздействия помех, а также найти способы эффективно контролировать и минимизировать эти процессы.

1. Описание аппаратно-программной платформы

Для реализации аппаратно-программной платформы для исследования и анализа помех в беспроводных сетях необходимо спроектировать – передатчик, приемник и

генератор помех. Передатчик должен генерировать стабильный сигнал и создавать сеть Wi-Fi, что позволит имитировать реальные условия работы беспроводных сетей. Приемник должен точно регистрировать входящий сигнал и сигнал от генератора помех. Генератор помех, являясь ключевым элементом проекта, должен создавать разнообразные виды помех, чтобы эффективно анализировать устойчивость различных коммуникационных протоколов к внешним воздействиям.

Дополнительно к разработке аппаратной части, большое значение имеет создание программного обеспечения для управления устройствами и обработки данных. Программное обеспечение должно быть максимально гибким, чтобы пользователи могли изменять параметры испытаний, такие как частота, мощность сигнала и характеристики помех. Кроме того, необходимо создать пользовательский интерфейс платформы, который будет простым в использовании и позволит быстро получить доступ к результатам испытаний.

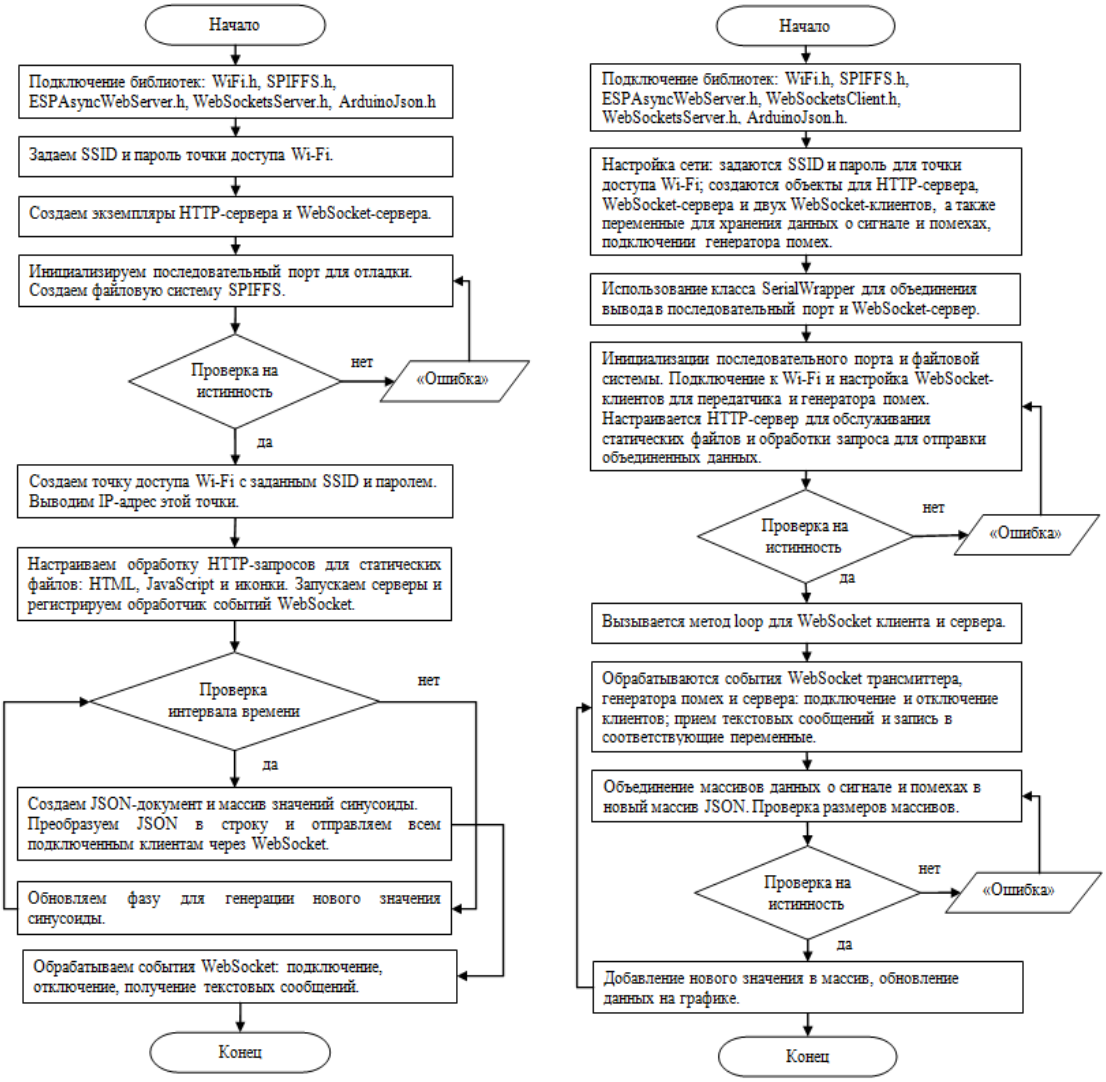
Передатчик, приемник и генератор помех разработаны на базе микроконтроллера ESP32. Устройства выполняют разные функции. Передатчик создает точку доступа Wi-Fi, поднимает HTTP-сервер для обслуживания веб-страниц и WebSocket-сервер для передачи данных о сигнале. Он генерирует данные синусоидального сигнала и передает их через WebSocket. Генератор помех подключается к Wi-Fi сети, созданной передатчиком, и поднимает WebSocket-сервер для передачи данных о помехах. Он генерирует различные типы помех в зависимости от выбора режима и отправляет данные через WebSocket. Приёмник также подключается к Wi-Fi сети трансмиттера, подключается к WebSocket-серверу трансмиттера для получения данных о сигнале и к WebSocket-серверу генератора помех для получения данных о помехах. Он объединяет данные сигнала и помех, создавая комбинированный сигнал, и предоставляет их через HTTP-запросы. Предложенная архитектура позволяет гибко управлять режимами помех, отслеживать изменения сигналов и анализировать влияние помех в реальном времени. Для данного проекта основная задача заключалась в создании рабочей системы с надежной и стабильной работой программного обеспечения.

Передатчик в этой системе отвечает за генерацию синусоидальных волн, которые имитируют аналоговые сигналы в цифровой форме. Основная функция передатчика – это регулярная отправка данных. Разработанная программа инициализирует Wi-Fi соединение, настраивает IP-адреса и запускает сервер. Данные для отправки формируются и пакетируются в соответствии с протоколом передачи, после чего передаются на приемник. Особое внимание было уделено эффективности передачи и минимизации задержек.

Приёмник служит для получения данных от передатчика. Программа на данном устройстве настроена на прием данных через Wi-Fi. Эти данные затем обрабатываются и визуализируются в виде графика на веб-странице, что позволяет пользователю наблюдать за процессом обработки сигналов в реальном времени. Полученные данные анализируются на предмет ошибок и потерь, что позволяет оценить качество беспроводной связи. Результаты анализа преобразуются для последующего изучения и сравнения с теоретическими моделями помех.

Блок-схемы алгоритма работы передатчика и приёмник показаны на рисунке 1.

Генератор помех – это главный компонент системы Он создает искусственные помехи, имитируя различные условия, которые могут встретиться в работе беспроводных устройств. Помехи генерируются по заданному алгоритму, который можно настраивать в реальном времени через пользовательский интерфейс.



а) б)

Рисунок 1. Алгоритм работы: а - передатчик; б - приемник

Устройство позволяет моделировать различные условия воздействия помех на сеть, включая изменения мощности сигнала и переключение каналов.

Генератор помех подключается к сети Wi-Fi, чтобы иметь возможность отправлять данные на приёмник. В этом режиме он действует как клиент в сети. WebSocket используется для отправки данных о помехах на приёмник. Это позволяет передавать данные в реальном времени и наблюдать за их влиянием на обрабатываемый сигнал. Код отвечает за генерацию случайных чисел, которые моделируют помехи, и отправку этих данных через WebSocket. Помехи генерируются как случайные значения в заданном диапазоне и могут быть адаптированы для имитации различных видов шума или искажений. Блок-схема алгоритма генератора помех представлена на рисунке 2.

Одной из сложностей была синхронизация работы всех трех устройств. Удалось обеспечить эффективное взаимодействие устройств через Wi-Fi, используя одну сеть. Синхронизация времени между устройствами позволяет точно измерять влияние помех на передачу данных, что критически важно для достоверности экспериментов.

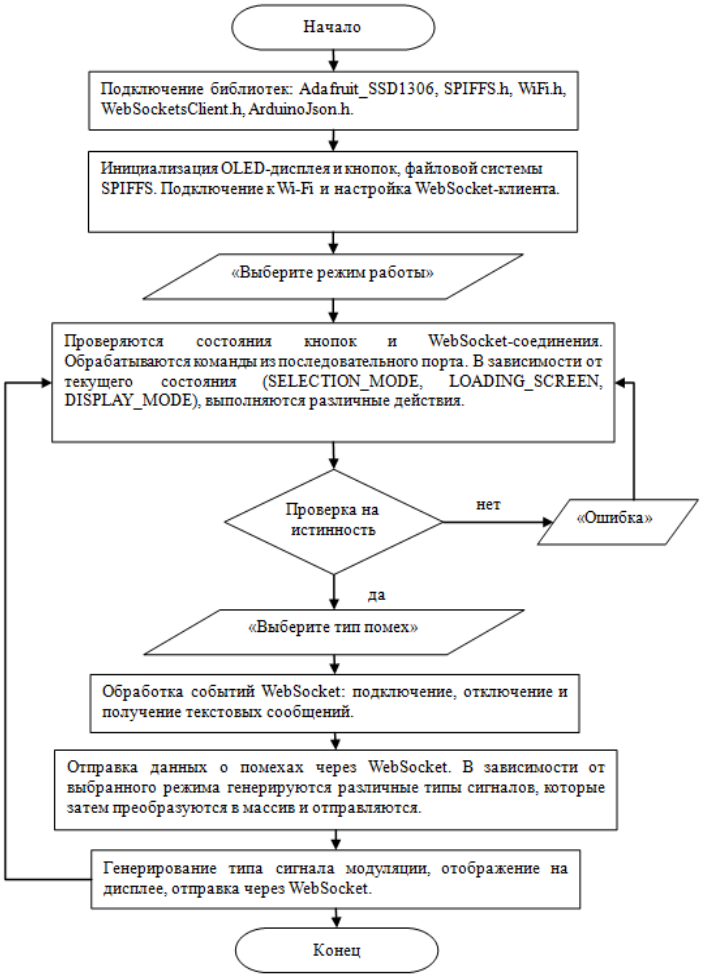


Рисунок 2. Алгоритм реализации генератора помех

Для контроля и анализа процесса передачи данных разработан веб-интерфейс на устройствах. Этот интерфейс реализован с помощью HTTP-сервера, который позволяет пользователям в реальном времени наблюдать за передаваемыми и принимаемыми данными через веб-браузер. Для работы веб-интерфейса используются дополнительные файлы, хранящиеся в файловой системе SPIFFS на устройствах ESP32. Интерактивная веб-страница отображает и обновляет графические данные в реальном времени, предоставляя пользователям возможность для наблюдения за работой системы.

2. Реализация и экспериментальные результаты

Разработанный симулятор позволят наблюдать влияние помехи на начальный сигнал и провести оценку выходного сигнала (рисунок 3).

Основные результаты работы можно сформулировать следующим образом:

1. Разработанное программное обеспечение позволяет симулировать процессы передачи данных в беспроводной сети, а также моделировать воздействие помех на этот процесс.

2. Разработанная аппаратная платформа для генерации помех позволяет создавать различные типы помех и варьировать их параметры для оценки их влияния на качество связи в беспроводных сетях.

3. Благодаря гибкой архитектуре и использованию микроконтроллера ESP32, удалось создать эффективный инструмент для исследования поведения беспроводных сетей в условиях различных помеховых сценариев.

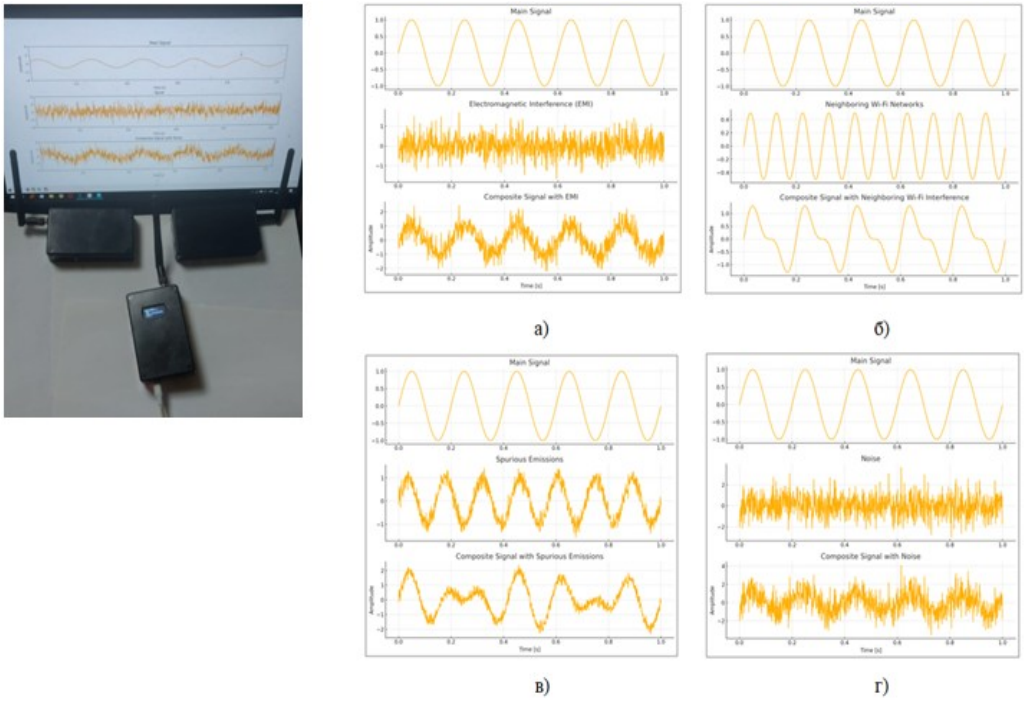


Рисунок 3. Внешний вид экспериментального стенда и графики симуляции исходного сигнала с различными помехами: а - электромагнитные помехи, б – помехи соседних Wi-Fi соединений, в - помехи паразитного излучения, г - шумовая помеха

Этапы экспериментального тестирования продемонстрировали адекватность модели и работоспособность симулятора для анализа помех в беспроводных сетях.

Заключение. Таким образом, предлагаемая платформа позволяет проводить симуляции влияния помех на начальный сигнал в беспроводных сетях передачи данных. Аппаратная платформа включает передатчик, приемник и генератор помех, которые разработаны на базе микроконтроллера ESP32. Для управления параметрами каждого устройства и сценариев симуляции разработано программное обеспечение. Использован язык программирования C++ и интегрированная среда разработки Arduino IDE. Реализован программный модуль для анализа амплитудной модуляции и симуляции влияния возможных помех на сигнал при передаче данных в сетях Wi-Fi. Используемая архитектура позволяет реализовать другие виды модуляции без необходимости изменения уже существующих связей между компонентами программы.

Симулятор может быть использован для проведения исследований в области управления помехами и оптимизации работы беспроводных коммуникационных систем. Производители устройств IoT, беспроводных роутеров, радио модулей и другого оборудования, использующего радиочастотную связь, могут применять данную платформу для тестирования своей продукции, моделируя реальные условия эксплуатации. Университеты и технические колледжи могут использовать данную систему в учебных целях, позволяя студентам более глубоко изучить принципы беспроводной связи, методы анализа помех и способы их устранения. Это также может служить основой для проведения научно-исследовательских работ и разработки новых методов улучшения качества связи.

Литература

1. Global Wireless Connected Devices Market Analysis By Size, By Type, By Application. – https://www.linkedin.com/pulse/global-wireless-connected-devices-market-analysis-npybf (07.10.2024).
2. Number of Internet of Things (IoT) connections worldwide from 2022 to 2023, with forecasts from 2024 to 2033. – https://www.statista.com/statistics/1183457/iot-connected-devices-worldwide (07.10.2024).
3. State of IoT 2024: Number of connected IoT devices growing 13% to 18.8 billion globally. – https://iot-analytics.com/number-connected-iot-devices (07.10.2024).
4. *Krishan, R.* Computational Analysis of Interference for Sustainable Operation of Wireless Networks // In book: Sustainable Security Practices Using Blockchain, Quantum and Post-Quantum Technologies for Real Time Applications, 2024. – P. 87-98.
5. *Dionísio, R., Ribeiro, F., Metrôlho, J.* Radio Interference of Wireless Networks and the Impact of AR/VR Applications in Industrial Environments // Electronics, 2023. – Vol.12, issue 1.
6. *Jiya, E.A., Muhammad, M.B., et al.* Overview on Technologies for Combating Interference and Noise Management in 5G and Beyond Network // Engineering and Technology Journal, 2024, 09(08), doi: 10.47191/etj/v9i08.01.
7. *Siddiqui, M.U.A., Qamar, F., et al.* Interference Management in 5G and Beyond Network: Requirements, Challenges and Future Directions // IEEE Access, 2021. – Vol. 9. – P.68932-68965.
8. *Kazmi, S.H.Ali., et al.* Routing-Based Interference Mitigation in SDN Enabled Beyond 5G Communication Networks: A Comprehensive Survey // IEEE Access, 2023. – Vol.11. – P.4023-4041.
9. *Кожанжаров, Е.Е., Григорьева, С.В.* Анализ подходов используемых для уменьшения потребления энергии в беспроводных сенсорных сетях // МНТК ВКТУ, 2024. – Ч. III – С. 150-154.
10. *Grigoryeva, S., Baklanov, A., Alimkhanova, A., et al.* Usage of Light-Emitting Diode Lighting and Visible Light Communication Technology for Temperature Control // Acta Polytechnica Hungarica, 2021. – Vol.18, issue 4. – P.7-24.
11. *Grigoryeva, S., Alimkhanova, A., Batalova, M.* Research of indoor temperature data transmission using visible light communication technology // Journal of Physics: Conference Series, 2021.

Алимханова Аслима Женісқызы – PhD, ассоциированный профессор. Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова; 010000, Астана; aslima_alimhanova@mail.ru;

Григорьева Светлана Владимировна – PhD, ассоциированный профессор. Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева; 070000, Усть-Каменогорск; sgrigorieva@inbox.ru;

Кожанжаров Ерсин Ермекович – докторант. Восточно-Казахстанский технический университет им. Д.Серикбаева; 070000,Усть-Каменогорск; kozhanzharov_ersin@mail.ru.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С НАКЛОННОЙ РЕШЕТКОЙ БРЭГГА

Т.Н. Асаубаев[1], А.У. Калижанова[1,2]

[1]НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Алматы, Казахстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы Казахстан

Аннотация. *Работа посвящена разработке теоретической модели информационной системы мониторинга мостовых конструкций с использованием оптических датчиков с наклонной решеткой Брэгга. Система предназначена для отслеживания состояния мостов в реальном времени, выявления деформаций и вибраций. Описаны ключевые подсистемы: сбор, обработка, анализ и визуализация данных. Выводы показывают, что предложенная система повышает безопасность эксплуатации мостов за счет своевременного обнаружения дефектов и передачи данных для принятия решений по ремонту и обслуживанию.*

Ключевые слова: *Информационная система, волоконно-оптические датчики, проектирование, мостовые конструкции.*

Введение

Безопасность и долговечность мостовых конструкций — одна из ключевых задач современного инженерного строительства. Мосты играют важную роль в транспортной инфраструктуре, и их неисправность может привести к серьезным последствиям, включая аварии и человеческие жертвы. Поэтому своевременное и точное выявление дефектов и потенциальных угроз для их эксплуатации крайне важно. В связи с этим мониторинг состояния мостовых сооружений является необходимым компонентом системы их эксплуатации.

Одним из современных и высокоэффективных методов мониторинга является использование оптических датчиков Брэгга, которые обеспечивают точное измерение деформаций и вибраций в реальном времени. Датчики Брэгга способны фиксировать даже малейшие изменения физических параметров мостов, что позволяет заранее обнаруживать потенциальные угрозы и предотвращать аварии. Разработка информационных систем для автоматизированного сбора, обработки и анализа данных с таких датчиков предоставляет возможность повысить точность мониторинга и снизить временные затраты на диагностику.

Данная работа посвящена и проектированию информационной системы для мониторинга мостовых конструкций с использованием оптических датчиков Брэгга [1, 2]. В ходе исследования были рассмотрены особенности проектирования систем мониторинга, проведен анализ существующих методов сбора и обработки данных, а также предложена архитектура системы, включающая несколько ключевых подсистем: сбор данных, их обработка, аналитика и визуализация результатов.

Целью данной работы является создание теоретической модели информационной системы мониторинга мостов, которая сможет обеспечить своевременное выявление дефектов и принятие решений по их устранению на основе автоматического анализа данных.

1. Проектирование функциональной структуры

Основой данной структуры является четкое определение подсистем и их взаимосвязей, позволяющее достигать оптимальной обработки и интерпретации данных, а также своевременно обнаруживать потенциальные проблемы. Система мониторинга опирается на несколько ключевых подсистем, каждая из которых выполняет специфические задачи [3-5].

– Подсистема сбора данных отвечает за получение информации от оптических датчиков Брэгга, установленных на мостовых конструкциях. Эти датчики передают данные о деформациях и вибрациях на контроллеры, которые преобразуют сигналы в цифровой формат, обеспечивая точное измерение физических параметров.

– Подсистема обработки данных обрабатывает и очищает информацию, поступающую от датчиков. Эта подсистема обеспечивает фильтрацию данных, устраняя шумы и корректируя отклонения, а также выполняет агрегирование и нормализацию для последующего анализа. Она должна быть спроектирована таким образом, чтобы поддерживать непрерывный поток данных и обеспечивать их передачу в режиме реального времени.

– Ключевым компонентом системы является аналитическая подсистема, которая анализирует обработанные данные для выявления аномалий, тенденций и потенциальных угроз. Используя сложные аналитические алгоритмы, подсистема идентифицирует закономерности в данных и генерирует прогнозы состояния мостов. Это помогает своевременно выявлять признаки износа и прогнозировать возможные повреждения.

– Подсистема представления данных отвечает за визуализацию результатов анализа. Она предоставляет удобный интерфейс для отображения данных в форме графиков, отчетов и диаграмм. Эта подсистема должна быть интуитивно понятной для пользователей и предоставлять возможность легко интерпретировать результаты мониторинга. Интерактивные возможности позволяют пользователям самостоятельно фильтровать и просматривать данные, что обеспечивает высокую адаптивность системы к потребностям пользователя.

– Подсистема уведомлений интегрируется с аналитической и модулем представления данных для своевременного оповещения ответственных лиц в случае обнаружения критических изменений в состоянии мостов. Подсистема уведомлений должна быть настроена на отправку сообщений соответствующим специалистам и обеспечивать гибкость в выборе критериев оповещения.

– Подсистема управления доступом обеспечивает безопасность данных и функций системы. Она контролирует доступ к информации и функциям мониторинга, позволяя только авторизованным пользователям просматривать данные и управлять системой. Эта подсистема должна быть интегрирована на всех уровнях функциональной структуры, чтобы защитить данные от несанкционированного доступа.

2. Описание базы данных системы

База данных для информационной системы состоит из 6 таблиц: Пользователи (Users), Датчики (Sensors), Данные датчиков (SensorData), Архив (ArchiveData), Прогнозы (Predictions), Отчеты (Report) [6, 7].

Таблица "Пользователи" (Users) содержит уникальный номер пользователя, имя, фамилия, логин и пароль. Структура показана в таблице 1.

Таблица 1 – Пользователь

Наименование поля	Тип данных	Размер	Назначение поля
Id	INTEGER		Идентификатор пользователя
username	VARCHAR	150	Хранит сведения о логине
password	VARCHAR	128	Хранит сведения о пароле

first_name	VARCHAR	150	Хранит сведения о имени
last_name	VARCHAR	150	Хранит сведения о фамилии
email	VARCHAR	254	Хранит сведения о почте

Таблица "Датчики" (Sensors) содержит уникальный номер датчика, локация и дата установки. Структура показана в таблице 2.

Таблица 2 – Датчики

Наименование поля	Тип данных	Размер	Назначение поля
Id	INTEGER		Идентификатор датчика
location	VARCHAR	150	Хранит сведения о локации
install_date	DATETIME		Хранит сведения о дате установки датчиков

Таблица "Данные датчиков" (SensorData) содержит уникальный номер данных, данные, дату. Структура показана в таблице 3.

Таблица 3 – Данные датчиков

Наименование поля	Тип данных	Размер	Назначение поля
Id	INTEGER		Идентификатор данных
data_info	VARCHAR	150	Хранит сведения о данных
data_date	DATETIME		Хранит сведения о дате создания данных

Таблица "Архив" (ArchiveData) содержит уникальный номер данных, данные, дату. Структура показана в таблице 4.

Таблица 4 – Архив

Наименование поля	Тип данных	Размер	Назначение поля
Id	INTEGER		Идентификатор архивных данных
arch_ data_info	VARCHAR	250	Хранит сведения о архивных данных
arch_ data_date	DATETIME		Хранит сведения о дате создания данных

Таблица "Прогнозы" (Predictions) содержит уникальный номер данных, данные, дату. Структура показана в таблице 5.

Таблица 5 – Прогнозы

Наименование поля	Тип данных	Размер	Назначение поля
Id	INTEGER		Идентификатор заказа
pred_ data_info	VARCHAR	250	Хранит сведения о прогнозируемых данных
pred_ data_date	DATETIME		Хранит сведения о дате создания данных

Таблица "Отчеты" (Report) содержит уникальный номер отчета, дата создания, предельные показатели, превышенные показатели, превышение, Excel файл с отчетной таблицей. Структура показана в таблице 6.

Таблица 6 – Отчеты

Наименование поля	Тип данных	Размер	Назначение поля
Id	INTEGER		Идентификатор отчета

date_create	DATETIME		Хранит сведения о дате создания отчета
standart_data	VARCHAR	250	Хранит сведения о предельных показателях
excess_data	VARCHAR	250	Хранит сведения о превышенных показателях
excess_value	VARCHAR	250	Хранит сведения о превышении
file	VARCHAR	100	Хранит сведения о названии файла

3. Диаграммы вариантов использования, состояний и деятельности

Варианты использования в данной системе включают в себя задачи сбора, обработки и анализа данных, получаемых от оптических датчиков Брэгга. Сбор данных является одной из ключевых функций, обеспечивающих непрерывное получение информации о состоянии мостовых конструкций. Система должна позволять операторам контролировать этот процесс и корректировать настройки оборудования по мере необходимости.

Анализ данных представляет собой еще один важный вариант использования. Инженеры анализируют данные для выявления тенденций, аномалий и возможных признаков износа мостов. Диаграмма вариантов использования показывает, как инженеры взаимодействуют с системой для выполнения этой задачи и какие инструменты для анализа им предоставляются.

Пользователи в системе выполняют задачи мониторинга состояния мостов на более высоком уровне, используя информацию, предоставленную системой, для принятия решений о ремонте и обслуживании. Диаграмма вариантов использования также отражает взаимодействие пользователей с системой и их потребности в отчетах и аналитике. На рисунке 1 представлена диаграмма вариантов использования системы.

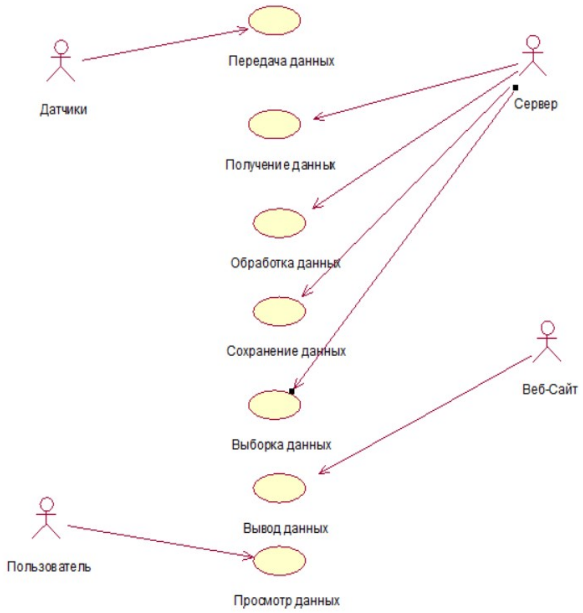


Рисунок 1. Диаграмма вариантов использования системы

Для системы мониторинга мостов диаграмма состояний может показывать изменения состояния данных, полученных с датчиков, в процессе их обработки и анализа. Она демонстрирует переходы от одного состояния к другому в зависимости от происходящих в системе событий.

Диаграмма состояний иллюстрирует путь данных с момента их сбора датчиками Брэгга до представления результатов. На начальном этапе данные находятся в состоянии «Сырые», где они еще не обработаны и требуют предварительной фильтрации и нормализации. После этого данные переходят в состояние «Обработанные», когда они становятся пригодными для дальнейшего анализа. Затем данные могут перейти в состояние «Анализируемые», когда аналитические модули системы применяют различные алгоритмы для выявления тенденций, аномалий и потенциальных проблем. После завершения анализа данные переходят в состояние «Анализ завершен» и становятся доступными для визуализации и представления конечным пользователям. В зависимости от результатов анализа данные могут также перейти в состояние «Требуется внимание», если были обнаружены критические отклонения. В этом состоянии система может отправить уведомления ответственным лицам, чтобы они могли оперативно принять меры.

Диаграмма состояний также может отображать переходы данных обратно в предыдущие состояния, например, когда они повторно анализируются после обновления алгоритмов или при изменении условий мониторинга. Это помогает проектировщикам системы понять, как данные могут перемещаться между различными состояниями и как это влияет на их дальнейшее использование.

В целом, диаграмма состояний предоставляет четкое представление о том, как данные проходят через различные этапы обработки в системе мониторинга мостов, и помогает оптимизировать этот процесс для обеспечения надежной и эффективной работы системы. На рисунке 2 представлена диаграмма состояний системы.

Рисунок 2. Диаграмма состояний системы

В контексте системы мониторинга мостов диаграмма деятельности подробно описывает процессы сбора, обработки, анализа и визуализации данных, получаемых от оптических датчиков Брэгга. Она начинается с активности сбора данных, где датчики фиксируют физические параметры моста, такие как деформации и вибрации. Данные собираются контроллерами и отправляются на сервер для дальнейшей обработки.

Процесс обработки данных на сервере включает в себя фильтрацию, нормализацию и возможно агрегирование данных, чтобы подготовить их к анализу. Эта стадия очень важна, поскольку она обеспечивает чистоту и точность данных, которые будут использоваться для выявления тенденций и аномалий.

Следующий этап — анализ данных. На этом этапе применяются различные аналитические алгоритмы для интерпретации данных, идентификации аномалий и

формирования выводов о состоянии мостовых конструкций. Эта деятельность критически важна для определения мер по обслуживанию и ремонту мостов.

Завершающим этапом является визуализация данных, где результаты анализа представляются в удобной форме для инженеров и руководителей. Визуализация может включать графики, диаграммы и интерактивные отчеты, которые позволяют пользователям быстро оценить состояние мостов и принять обоснованные решения.

Диаграмма деятельности также может включать в себя процессы управления и обслуживания системы, такие как обновление программного обеспечения, регулярные проверки и калибровки оборудования, а также процедуры реагирования на чрезвычайные ситуации, которые активируются при обнаружении серьезных проблем. Таким образом, диаграмма деятельности обеспечивает ценное руководство для разработчиков и операторов системы мониторинга мостов. Она демонстрирует как протекают ключевые процессы системы, выявляет потенциальные проблемы в потоке работы и помогает оптимизировать процессы для повышения эффективности и надежности системы. На рисунках 3-4 представлена диаграмма деятельности системы.

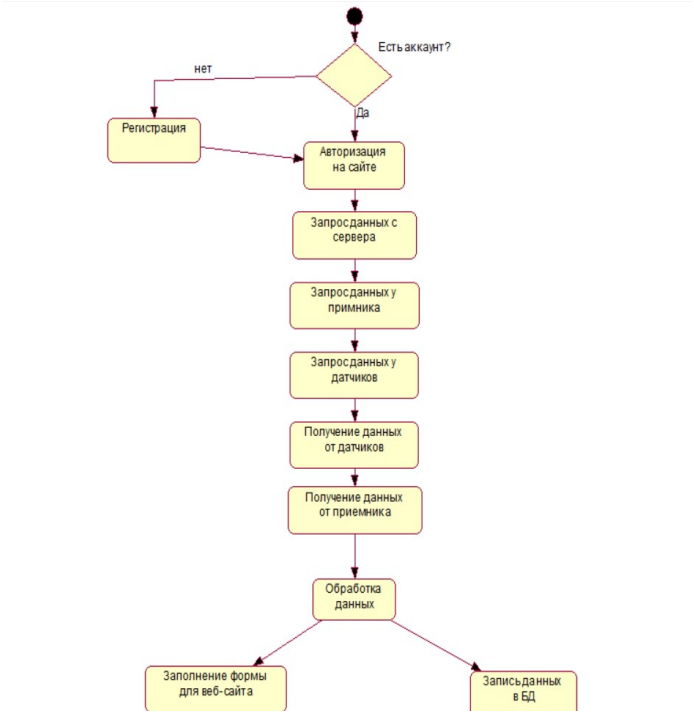


Рисунок 3. Диаграмма деятельности системы

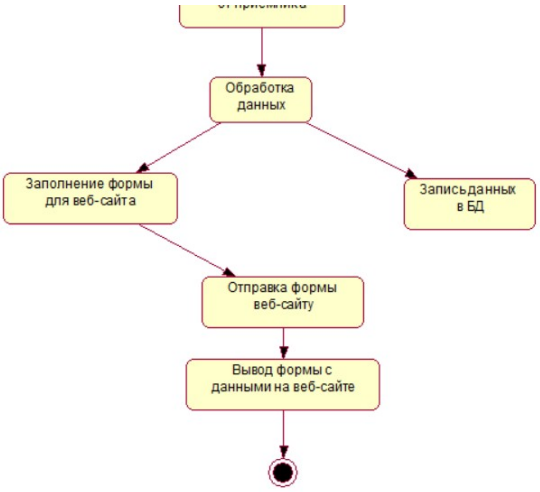


Рисунок 4. Диаграмма деятельности системы

4. Заключение

ходе работы была разработана теоретическая модель информационной системы для мониторинга мостовых конструкций с использованием оптических датчиков Брэгга. Система позволяет в реальном времени контролировать состояние мостов, что повышает безопасность и продлевает срок их службы.

Предложенная система способствует своевременному обнаружению дефектов, снижая риск аварий. В будущем возможно расширение функционала за счет внедрения методов машинного обучения для улучшения анализа и прогнозирования данных.

Литература

1. Калижанова А. «Анализ и исследование существующего опыта проектирования и использования различных современных волоконно-оптических датчиков для мониторинга состояния инженерных сооружений», Вестник ВКТУ. – Усть-Каменогорск: ВКТУ, 2021. – 89-101 с.
2. Вуйцик В., Калижанова А. «Исследование и анализ обработки сигналов волоконно-оптических датчиков на основе наклонных периодических структур», МАТЕРИАЛЫ VI международной научно-практической конференции "Информатика и прикладная математика" – Алматы: Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, 2021. – 171-193 с.
3. Amrita G. «Key Management Systems for Smart Grid Advanced Metering Infrastructure: A Survey» – New York: IEEE, 2018. – 14 p.
4. Manikanta K. «Visualization of Real-World Enterprise Data using Python Django Framework» – Bristol: IOPscience, 2021. – 9 p.
5. Frank Z. «Modern Full-Stack Development» – New York: Apress, 2022. – 395 p.
6. Luca F. « Learn PostgreSQL». – Mumbai: Packt Publishing, 2020. – 650 p.
7. Silas B. «Learn PostgreSQL From Basics». – North Charleston: Independently Published, 2022. – 100 p.

Асаубаев Темірлан Нұрланұлы – магистрант. Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева;050000; Алматы; e-mail: t.assaubayev@aues.kz

Калижанова Алия Уалиевна – к.ф.-м.н. Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; 050000; Алматы; e-mail: kalizhanova_aliya@mail.ru

Колледж студенттеріне информатиканың арнайы курстарын оқытудың әдістемелік ерекшеліктері

А.С. Батыкова
әл-Фараби атындағы Қаз ҰУ, Алматы, Қазақстан
e-mail: aygerymbatykova@gmail.com

Аннотация. *Бұл мақалада техникалық және кәсіптік, орта білімнен кейінгі білім беру ұйымдарында (ТжКБ) мамандандырылған информатика пәндерін оқытудың негізгі бағыттарын қарастырылады. Зерттеудің мақсаты оқыту барысында студенттердің әртүрлі деңгейлерін ескере отырып, тиімді стратегияларды таңдау, курстардың мазмұнын құрылымдау және заманауи білім беру технологияларын қолдану. Осыған орай, ТжКБ ұйымдарына арналған арнайы платформа құру қажеттілігі туындайды. Бұл платформа модульдік оқыту жүйесін пайдаланып, яғни студенттер модульдерді аяқтай отырып, нақты мамандықты меңгере алады. Платформада мамандық таңдау, оқытушыларға әдістемелік көмек көрсету қарастырылған. Оқыту процесінде геймификация элементтері (жетістіктер, лидерлер тақтасы және т.б.), жобалық жұмыстар, тағылымдамалар және виртуалды зертханалар қолданудың нәтижелері ұсынылған.*

Кіріспе. Колледждерде информатиканың арнайы курстарын оқыту болашақ ақпараттық технологиялар мамандарын даярлаудың маңызды бөлігі болып табылады. IT индустриясының қарқынды дамуын ескере отырып, білім беру бағдарламалары еңбек нарығының заманауи талаптарына сәйкес келуі және студенттерге қажетті білім мен дағдыларды қамтамасыз етуі керек (Маккартни, Сандерсон, 2020) [1]. Бұл оқыту әдістемелерін үнемі жетілдіру және оқу бағдарламаларын жаңарту қажеттілігін тудырады. (Андреев, 2019) [2].

Информатиканың арнайы пәндері оқытушыларының басты міндеттерінің бірі студенттерде кәсіби міндеттерді тиімді шешуге мүмкіндік беретін тұрақты практикалық дағдыларды қалыптастыру болып табылады (Симонович, 2021) [3]. Алайда, оқу процесі бірқатар қиындықтарға тап болады, мысалы, материалдық-техникалық базаның жетіспеушілігі, заманауи білім беру технологиялары мен стратегияларын таңдаудағы қиындықтар және студенттердің дайындық деңгейінің әртүрлілігі (Гергель, Седов, 2022) [4]. Мұның бәрі осы шектеулерді өтей алатын және оқу процесін тиімдірек ете алатын оқытудың инновациялық тәсілдерін әзірлеуді талап етеді (Ким, Лоуренс, 2018) [5].

Соңғы жылдары виртуалды зертханалар мен оқыту платформалары (Андерсон, Маккарти, 2019) [6] сияқты білім беруде цифрлық технологияларды қолдануға көбірек көңіл бөлінді, бұл оқыту сапасын едәуір арттыра алады. Дегенмен, олардың әлеуетіне қарамастан, білім беру мекемелерінде, әсіресе колледждерде мұндай технологияларды енгізу баяу (Швартц, 2017) [8]. Бұл оқытушыларға әдістемелік қолдаудың жетіспеушілігінен (Lindgren, McDaniel, 2018) [7] және оқу процесінде цифрлық құралдарды тиімді пайдалану үшін дайын шешімдердің болмауынан туындайды.

Бұл зерттеудің мақсаты-колледж студенттеріне информатиканың арнайы курстарын оқытудың негізгі әдістемелік ерекшеліктерін анықтау, сонымен қатар заманауи білім беру технологияларын қолдана отырып, оқу процесін оңтайландыру жолдарын ұсыну. Паперт ұсынған және Kafai сияқты зерттеушілер қолдаған информатиканы оқытуға конструктивистік көзқарас студенттерді оқу процесіне белсенді түрде тартудың маңыздылығын көрсетеді. Олардың жұмысы, мысалы, Mindstorms: балалар, Компьютерлер, және қуат идеялары студенттердің практикалық жобалар мен ойындар арқылы өз білімдерін қалай құра алатынын зерттейді. Олар оқу процесіне белсенді қатысу студенттерге

бағдарламалауды жақсы меңгеруге және сыни ойлауды дамытуға көмектесетінін атап өтті [13]. Сонымен қатар, Project-Based Learning in Computer Science Education зерттеуі информатикада жобалық оқытуды қолданудың маңыздылығын көрсетеді. Бұл жұмыс топтық жобаларды орындау топтық жұмыс дағдыларын дамытуға, жобаларды басқаруға және нақты мәселелерді шешуге қалай ықпал ететінін сипаттайды. Жобалық тәсіл студенттерге материалды тереңірек түсінуге және практикалық дағдыларды игеруге мүмкіндік береді [14]. Resnick және Kafai сияқты ғалымдардың еңбектері білім беру процесінде технологияның қолданылуын зерттейді. Digital Construction: Technology and Learning мақаласында Scratch және Python сияқты заманауи технологияларды оқытуға қалай біріктіруге болатыны талқыланады. Бұл студенттерге жаңа ұғымдарды тезірек үйренуге және оларды іс жүзінде қолдануға көмектеседі [15]. Профессор Керімбаев Н.Н. “Formats of Virtual Learning” мақаласында виртуалды оқытудың әртүрлі форматтарын, олардың артықшылықтары мен қиындықтарын жан-жақты талдау. Автор білім беру әдістерін жаңа жағдайларға бейімдеудің маңыздылығын атап көрсетеді және виртуалды оқытуды жақсарту бойынша ұсыныстарды айқындап көрсетеді. Жұмыс неғұрлым икемді, қолжетімді және тиімді білім беру ортасын құру үшін технологияларды пайдаланудың маңыздылығын көрсетеді, бұл әсіресе қазіргі білім беру трендтері контекстінде өзекті.[9].

Зерттеу әдістері. Осы зерттеудің мақсаттарына жету үшін педагогикалық әдебиеттерді талдауды қамтитын кешенді тәсіл қолданылды , информатиканың арнайы пәндерін оқытудың қолданыстағы әдістемелерін зерделеу, сондай-ақ заманауи білім беру технологияларын қолдана отырып практикалық эксперименттер жүргізу. Зерттеу информатика бойынша мамандандырылған курстар оқытылатын бірнеше колледждер негізінде жүргізілді.

- Әдебиеттік шолу. Бұл әдіс тақырып бойынша қолданыстағы әдебиеттер мен зерттеулерді талдау үшін қолданылады. Сіз информатиканы оқытудың арнайы курстары бойынша бұрынғы зерттеулер мен әдістемелерді қарастыра аласыз.
- Эксперименттік әдіс. Колледж студенттері арасында информатика курстарын әртүрлі әдістермен оқыту бойынша эксперимент жүргізуге болады. Мысалы, бір топ студенттерді дәстүрлі оқыту әдістерімен, ал екінші топты интерактивті әдістермен оқыту, содан соң олардың нәтижелерін салыстыру.
- Сауалнама. Студенттер мен оқытушылардан сауалнама алу арқылы оқу процесіне қатысты пікірлерін білу. Сұрақтар курстардың тиімділігі, қиындықтары және оқытудың әдістемелік аспектілері туралы болуы мүмкін.
- Бақылау. Оқу процесін бақылау арқылы информатика курстарының қалай өтіп жатқанын зерттеуге болады. Бұл әдіс студенттердің оқуға қатысу деңгейін және олардың материалды игеруін бақылауға мүмкіндік береді.
- Салыстырмалы әдіс. Әртүрлі оқу мекемелеріндегі информатиканы оқытудың әдістемелерін салыстыра отырып, ең тиімді әдістемелік тәсілдерді анықтау. Бұл колледжде қолданылатын әдістемені жетілдіруге көмектеседі.

Нәтижелер

1. Онлайн оқыту платформалары және виртуалды зертханалар. Білім беру платформалары және олардың информатиканы оқытуда қолдану мүмкіндіктері талданды (1-кесте).

1-кесте.Информатиканың арнайы курстарына салыстырмалы талдау

№	Критерий	Курстардың құрылымы	Оқыту форматы	Сертификат	Қиындық деңгейі	Бағалау әдістері	Интерактивтілік
1	Coursera	Курстар бейне дәрістер-мен,тапсырма	Асинхронды және синхронды оқыту.	Курстарды аяқтағаннан кейін ақылы	Бастауыш, аралық және жоғары	Автоматтанды рылған тесттер, бағалау	Форумдар мен пікірталаста

		лармен және жобалармен модульдерге бөлінеді.		сертификаттар.	деңгейлі курстар.	тапсырмалары және жобалар.	рдың болуы, бірақ бейне дәрістерді көруге бағытталған.
2	Stepik	Интерактивті тапсырмалар, бейнелер, тесттер және практикалық тапсырмалар	Бейне дәрістері және интерактивті тапсырмалары бар асинхронды курстар.	Курстарды аяқтағаннан кейін ақылы сертификаттар.	Бастауыштан жоғары деңгейге дейін.	Шешімдерді автоматты түрде тексеру және кері байланыс.	Практикалық тапсырмалар мен тесттер арқылы жоғары интерактивтілік, ide интеграциясы.
3	Khan Academy	Бейне сабақтар, Практикалық тапсырмалар және интерактивті жаттығулар.	Қысқа бейне дәрістері мен жаттығулары бар асинхронды курстар.	Курстар тегін, сертификаттар берілмейді.	Жаңадан бастаушыларға, соның ішінде мектеп оқушыларына арналған.	Тесттер мен тапсырмалар арқылы білімді тексеру.	Жоғары интерактивтілік, жеңілдетілген тапсырмалар, визуалды жаттығулар.
4	edX	Курстар дәрістермен, тесттермен және жобалармен модульдер бойынша құрылымдалған.	Бейне дәрістермен және жобалармен асинхронды және синхронды курстар.	Тегін және ақылы курстар, ақылы сертификаттар.	Университет бағдарламаларын қоса алғанда, бастауыштан жоғары деңгейге дейінгі курстар.	Автоматты тесттер, тапсырмалар және бағалау жобалары.	Басқа студенттермен өзара әрекеттесуге арналған практикалық тапсырмалар мен жобалар, форумдар.
5	Cisco Networking Academy	Курстарға бейне дәрістер, практикалық тапсырмалар және зертханалық жұмыстар кіреді.	Практикалық сабақтар мен модельдеулерді қолдана отырып, асинхронды оқыту.	Бағдарламаны аяқталғаннан кейін халықаралық аккредиттелген Cisco сертификаттары.	Желілік бағдарламалауға баса назар аудара отырып, бастауыштан кәсіби деңгейге дейін.	Білімді бағалауға арналған практикалық тапсырмалар мен тесттер.	Желілік оқыту, интерактивті зертханалар және тапсырмалар үшін тренажерлерді пайдалану.

Пайдаланушылардың көпшілігі (65%-дан 85% - ға дейін) Stepik, Coursera және Khan Academy платформаларында информатика бойынша арнайы онлайн курстарды аяқтаған жоқ. Мұнда пайдаланушылардың онлайн платформаларда курстарды аяқтамауының себептерінің қысқаша сипаттамасы берілген. Мотивацияның болмауы, уақытты басқару мәселелері, материалдардың күрделілігі, оқытудың тиімсіз әдістері, практикалық

қолданудың болмауы, техникалық ақаулар, қолдаудың болмауы және басымдықтардың өзгеруі – осы факторлардың барлығы білім беру мазмұнын әзірлеу кезінде пайдаланушылардың қажеттіліктерін ескерудің маңыздылығын көрсетеді.

Moodle-виртуалды зертханаларды құруға мүмкіндік беретін икемді платформа. Moodle көмегімен сіз:

- ✓ Материалдарды қосу: дәрістер, презентациялар, бейнелер, тапсырмалар.
- ✓ Интерактивті элементтер жасаңыз: форумдар, викториналар, сауалнамалар.
- ✓ Сыртқы құралдарды біріктіру: VPL, Jupyter Notebooks, тренажерлер, h5p күрделі тапсырмалар үшін.

Moodle виртуалды зертханаларының артықшылықтары:

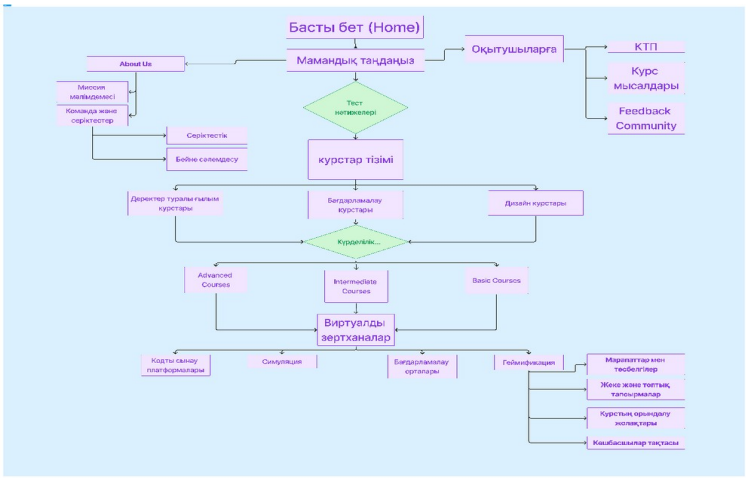
- Тәжірибе: Студенттер нақты эксперименттерге еліктейтін тапсырмаларды орындай алады.
- Қол жетімділік: оқыту кез келген уақытта және кез келген жерде қол жетімді.
- Автоматтандыру: тапсырмаларды тексеру автоматты түрде жүреді.
- Виртуалды зертханалар заманауи білім берудің тиімді құралы болып табылады, бұл студенттердің оқу сапасы мен белсенділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Туындаған мәселе: Мамандыққа бағыттап оқыту арқылы білім беру мазмұнын модернизациялау, интеграцияланған білім беру ортасын құрып, колледждерде білім сапасын көтеру және жас мамандарға әдістемелік көмек көрсету.

Мақсаты: Информатикадан арнайы курстарды оқытуға арналған виртуалды орта құру.

Мамандыққа бағыттап оқыту- бұл студенттерді ақпараттық технологиялар(АТ) саласындағы түрлі бағыттармен және мамандықтармен таныстыруға, сондай-ақ оларда информатика саласындағы кәсіби дағдылар мен құзыреттерді қалыптастыруға бағытталған білім беру процесі. Мұндай оқытудың негізгі мақсаты - оқушылардың еңбек нарығының мүдделеріне, қабілеттеріне және өзекті үрдістеріне сүйене отырып, олардың АТ-саласындағы мансаптық жолын саналы түрде таңдауға көмектесу. Бұл оқыту теориялық білімді (бағдарламалау, дерекқор, киберқауіпсіздік, веб-әзірлеу және т.б.), сондай-ақ зертханалық жұмыстар, жобалар және тағылымдамалар арқылы дағдыларды практикалық қолдануды қамтиды, бұл оқушыларға әртүрлі АТ мамандықтарының ерекшеліктерін түсінуге және одан әрі дамыту үшін қолайлы бағытты таңдауға мүмкіндік береді. Басқа курстардан бөлек комьюнити құру, жалпы курсты ұйымдастыру бағытын динамикалық жасау. Курсты деңгейіне байланысты оқытуды қарастыру. Программалау орталарын және симуляторларды бір платформаға біріктіру. (1-сурет)

Платформаның прототипі үшін бірнеше негізгі элементтерді бөліп көрсетуге болады:



1-сурет. IT-мамандықтарды оқытатын сайттың прототипі

1. Басты бет (Home)

Тақырып: "Барлығына арналған it-білім"

Навигация: курстар, мамандандыру, оқытушыларға, біз туралы.

Негізгі блоктар: сәлемдесу және сайттың қысқаша сипаттамасы, мамандандыруды анықтау тестінен өту түймесі, танымал курстардың жарнамалық блоктары.

2. Мамандандыруды таңдау беті

Сипаттама: Бұл бетте пайдаланушылар өздерінің күшті жақтарын және оларға сәйкес келетін IT бағыттарын анықтауға көмектесетін сынақтан өтеді.

Функциялар:

- логика, талдау және артықшылық сұрақтары бар Тест(мысалы,"маған ең ұнайтыны-деректермен/кодпен/дизайнмен жұмыс істеу және т. б.").
- тест нәтижелеріне негізделген мамандандыру бойынша ұсыныстар.
- таңдалған мамандықтар бойынша курстар мен модульдердің тізімі.

3. Курстар каталогы (модульдер бойынша)

Сипаттама: дәйекті түрде үйренуге болатын әртүрлі курс модульдері бар бет.

Функциялар:

- қиындық деңгейлері бойынша сүзгі (бастаушы, орташа, жетілдірілген).
- бағыт бойынша сүзгі (бағдарламалау, деректерді талдау, киберқауіпсіздік, Дизайн және т.б.).
- әр модульдің сипаттамасы, сағат саны және негізгі дағдылар.

4. Оқытушыларға (оқу бағдарламаларын әзірлеу)

Сипаттама: Бұл бет жас оқытушыларға өздерінің оқу бағдарламаларын әзірлеуге және басқалармен бөлісуге көмектеседі.

5. Виртуалды зертханалар

Функциялар:

- виртуалды бағдарламалау орталары (мысалы, желілік зертханаларды орындауға арналған виртуалды машиналар).
- киберқауіпсіздік, бағдарламалау және деректерді талдау жаттығуларын орындауға арналған құм жәшіктері.
- кодты тестілеу платформаларымен интеграциялау.

6. Геймификация элементтері

Сипаттама: студенттерге оқуды қызықты ету үшін мотивациялық механизмдер.

Платформаның функционалдығы курстар мен модульдерді аяқтағаны үшін марапаттар мен төсбелгілерді есептеуді, жеке және топтық тапсырмалар үшін рейтингтердің болуын, әрбір курс үшін прогресс-барларды және достық бәсекелестікті ынталандыру үшін көшбасшылық тақталарды қамтиды.

Виртуалды оқыту ортасы(ВОО) - бұл пайдаланушыларға онлайн режимінде өзара әрекеттесу үшін білім беру ресурстары мен құралдарына қол жеткізуге мүмкіндік беретін бағдарламалық платформа.[10]

Виртуалды оқытудағы геймификация - студенттердің оқу процесіне қатысуын арттыру үшін ойын элементтері мен механиктерін қолдану. [11]

Виртуалды зертханалар-бұл пайдаланушыларға виртуалды ортада эксперименттер мен зерттеулер жүргізуге мүмкіндік беретін нақты зертханалық қондырғылар мен жабдықтарды модельдейтін бағдарламалық жасақтама. [12]

Осы орайда, 7 ТжКБ ұйымдарының 60 оқытушысынан сауалнама алынды, нәтижесінде 70% оқытушы электронды ресурстың қажеттілігін растады (2-диаграмма).

2-диаграмма. Жоба бойынша оқытушылардан алынған сауалнама

Талқылау. Колледждерде информатиканың арнайы курстарын оқытуда заманауи білім беру технологияларының маңыздылығын көрсетеді. Виртуалды зертханалар мен онлайн-платформалар, әсіресе материалдық-техникалық базаның жетіспеушілігі кезінде, білім беру сапасын едәуір жақсартады.

Информатиканың арнайы курстарын оқытуда қолданылатын «Барлығына арналған it-білім» платформасының басқа оқыту курстарынан айырмашылығы:

1. Контенттің икемділігі.

Кейбір платформалар (мысалы, Coursera, EdX) алдын ала дайындалған курстар мен оқу материалдарын ұсынады, ал арнайы курстарды оқытуда икемділік қажет болуы мүмкін. Мұндай жағдайларда платформалар оқытушыларға мазмұнды өздері бейімдеп, құруға мүмкіндік береді.

2. Практикалық жаттығулар мен симуляциялар.

Платформа практикалық дағдыларға назар аударып, код жазу мен шешім қабылдау симуляцияларына мүмкіндік береді.

3. Бейімделу мүмкіндігі

Платформалар оқу процесін саралауға мүмкіндік береді, студенттердің әр түрлі дайындық деңгейлерін ескеріп, жеке траекторияны ұсынады.

Арнайы курстарды оқытуда қолданылатын «Барлығына арналған it-білім» платформасының негізгі ерекшеліктері олардың икемділігі, практикалық жаттығуларды ұсыну қабілеті, оқу траекторияларын бейімдеу мүмкіндігі және оқытушылардың қатысуы мен материалдық базаның қолжетімділігінен көрінеді

Қорытынды. Қорытындылай келгенде, информатиканың арнайы курстарын оқытуда виртуалды зертханалар мен білім беру платформаларының қолданылуы оқу тиімділігін айтарлықтай жақсартатыны, тіпті материалдық-техникалық базаның шектеулі жағдайында да тиімді екені анықталды. Студенттердің білім деңгейіне бейімделген сараланған оқыту әдісі мотивацияны арттырып, оқу материалдарын игерудің тиімділігін жоғарылатады. Виртуалды зертханалар нақты кәсіби дағдыларды дамытуда маңызды рөл атқарып, болашақ кәсіби қызметке дайындау үшін тиімді құрал болып табылады. Сонымен қатар, оқытушыларға әдістемелік қолдау көрсету білім беру процесінің сапасын арттырады. Платформаның артықшылықтары виртуализация МТБ-ның әлсіздігін жеңуге, жас мамандарға бағыт-бағдар көрсетуге және студенттерге оқыту мен тәжірибе алмасу ортасын құруға мүмкіндік береді. Оқытуда жасанды интеллект пен виртуалды зертханалардың қолданатын қазақ тіліндегі информатика мамандығына арналған платформалардың алғашқысы болып табылады. Платформа студенттерге мамандыққа қажетті құзыреттіліктер мен мақсаттарды көрсетіп, тесттер арқылы білім деңгейін анықтап, теориялық білімдерін практикалық жұмыстармен бекітуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі:

1. Маккартни, Р., Сандерсон, л. цифрлық дәуірдегі Білім: технология оқыту тәсілін қалай жасайды / Р. Маккартни, л. Сандерсон. - М.: Білім, 2020. - 320 б.
2. Андреев, а.а. Білім берудегі ақпараттық технологиялар: оқу құралы / А. А. Андреев. - М.: ММУ, 2019. - 416 б.
3. Симонович, С. в. бағдарламалауға кіріспе: оқытудың негіздері мен әдістері / С. В. Симонович. - Санкт-Петербург.: Питер, 2021. - 560 б.
4. Гергель, в.п., Седов, и. А. білім берудегі виртуалды зертханалар: теория және практика / в. п. Гергель, и. А. Седов. - М.: Юрайт, 2022. - 380 Б.
5. Ким, К., Лоуренс, Д. оқытудағы Геймификация: енгізу теориясы мен әдістері / к. Ким, Д. Лоуренс. — Новосибирск: Ғылым, 2018. - 290 Б.
6. Андерсон, К., Маккарти, Дж. Онлайн Оқыту: Практикалық Нұсқаулық / К.Андерсон, Дж. Маккарти. - Нью-Йорк: Маршрут, 2019. - 310 б.
7. Линдгрен, Р., Макданиэль, Р. Мағыналы Технологиялар Арқылы Оқытуды Түрлендіру / Р. Линдгрен, Р.Макданиэль. - Нью-Йорк: Спрингер, 2018. - 220 б.
8. Шварц, М. оқыту мен оқытудың геймификациясы: оқыту мен тәрбиелеудің ойын әдістері мен стратегиялары / М. Шварц. - Сан-Франциско: Пфайфер, 2017. - 384 б.
9. Виртуалды оқыту: мүмкіндіктер мен іске асыру https://link.springer.com/search?new-search=true&query=kerimbayev /21 том, 1521–1533 беттер (10.09.2024г)
10. Смирнов А. В. Виртуальная обучающая среда: концепции и технологии // Образование и информатика. – 2018. – №2. – . 45-53б.
11. Иванова Е. Н. Геймификация в дистанционном обучении: теоретические и практические аспекты // Вестник современных исследований. – 2020. – №3. – . 112-119 б.
12. Сидоров, А. В. Виртуальные лаборатории в образовательном процессе / А. В. Сидоров // Вестник современных образовательных технологий. – 2020. – №2. – . 33-40б.
13. Papert, S. (1980). Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas (с. 42–47). New York: Basic Books. (42-47 б)
14. Beers, S. Z. (2011). Project-Based Learning in Computer Science Education (с. 12–19). New York: Routledge. (Beers, 2011, 12-19 б)
15. Resnick, M., & Kafai, Y. (2006). Digital Construction: Technology and Learning (с. 85–93). Cambridge: MIT Press. (Resnick & Kafai, 2006, Б. 85-93)

Батыкова Айгерим Сергазыевна – магистрант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби; aygerymbatykova@gmail.com

Жоғары сынып оқушыларын Python тілінде ойын құруға үйрету әдістері

А.М. Курмангалиева
әл-Фараби атындағы Қаз ҰУ, Алматы, Қазақстан
e-mail: kurmangalievaalmara@gmail.com

Мақалада жоғары сынып оқушыларын Python тілінде ойындар жасауға үйрету әдістемесі ұсынылған. Қазіргі заманғы білім беру үдерісіндегі негізгі дағды ретінде бағдарламалаудың маңыздылығы атап көрсетіледі. Зерттеудің негізгі мақсаты – геймификациялауды, білімді практикада қолдануды және жобалық тәсілді қоолдануды қамтитын тиімді әдістемені сипаттау болып табылады.

Кіріспе. Президент Қасым-Жомарт Тоқаев Қазақстан халқына Жолдауында елдің тұрақты дамуы үшін басты бағыт ретінде цифрландырудың маңыздылығын атап өткен. Бұл тұрғыда оқушылардың арасында цифрлық өнімдерді бағдарламалау және жасау саласындағы құзыреттерді қалыптастыру ерекше маңызға ие болады. Білім беру ортасында технологиялардың қарқынды дамуы жағдайында бағдарламалау цифрлық әлемді табысты игеру үшін негізгі дағдылардың біріне айналды. Бағдарламалаудың әртүрлі тілдерінің арасында Python өзінің қарапайымдылығымен, әмбебаптылығымен, шағын жобаларды және күрделі қосымшаларды жасау үшін кең мүмкіндіктерімен ерекшеленеді.

Тапсырма қою. Қазіргі заманғы мектептің маңызды міндеті жоғары сынып оқушыларын бағдарламалау негіздеріне ғана емес, сондай-ақ практикалық дағдыларды оқыту болып табылады. Сол себепті оқушыларға бағдарламалауды үйрету үшін әдістеме жасау қажеттігі туындайды. Осы мақаланың мақсаты — жоғары сынып оқушыларын Python тілінде ойындар жасауды үйрету әдістемесін сипаттау. Әртүрлі бағдарламалау тілдерінің ішінде Python жаңадан бастаушылар үшін қолжетімді тіл ғана емес, сонымен қатар шығармашылық және алгоритмдік дағдыларды дамытуға мүмкіндік береді. Геймификация, осы әдістеменің маңызды бөлігі ретінде, оқушылардың қызығушылығын және мотивациясын арттыруға көмектеседі, оны қызықты әрі нәтижелі етеді. Негізгі назар білім беру стратегияларына, оқу кезеңдерінің реттілігіне және бағдарламаны әзірлеу үшін құралдарды таңдау мәселелеріне аударылады.

Зеттеу әдістері. Көптеген зерттеулер оқушылардың практикалық әрекеттерге қатысуының программалаудағы білімдерін бекіту үшін маңыздылығын атап көрсетеді. Мысалы, Робертс және басқа авторлар [1] ойындық әзірлеуді жобалық әрекет ретінде қарастыра отырып, оқушылардың еңбектерінің нәтижелерін көруге мүмкіндік беретінін атап өтеді. Бұл мотивацияны арттыруға көмектеседі. Петрова [2] Python тілінің ықшамдылығы және Pygame сияқты ойындық кітапханалардың болуы жаңадан бастаушы программисттерді оқыту үшін қолайлы құрал екенін атап көрсетеді. Сидоровтың [3] зерттеулерінде оқыту процесіне ойын элементтерін енгізу тәсілдері талқыланады, бұл алгоритмдік ойлауды дамытуға ықпал етеді. Wang және Liu [4] жүргізілген зерттеу Pygame сияқты ойын қозғалтқыштарын жоғары сынып оқушыларын ойын жасауға үйрету үшін қолдану мәселелерін қарастырады. Pygame ойындар әзірлеуге ыңғайлы құралдар ұсынады және оқушыларға программалау логикасына назар аударуға мүмкіндік береді. Бұл оқу процесін жеңілдетеді және көрнекті нәтижелерге жылдам қол жеткізуге көмектеседі. Lee және Kim [5] жүргізілген зерттеуде Python тілінде ойын жасау алгоритмдік ойлауды дамытуға көмектесетініне назар аудартады. Оқушылар ойынның құрылымын жоспарлауды, деңгейлерді жобалауды және тапсырмаларды шешуді үйренеді, бұл программалауды пән ретінде жақсырақ түсінуге ықпал етеді. Yu және Wang [6] зерттеуінде Python-ды оқыту процесінде аралас оқытудың маңыздылығы атап көрсетіледі. Дәстүрлі әдістерді цифрлық құралдармен (ойын элементтерін қоса) біріктіру материалды тереңірек түсінуге және пәнге

қызығушылықты арттыруға ықпал етеді. Онлайн ресурстар мен платформаларды пайдалану оқушыларға программалау тілін ыңғайлы қарқынмен және интерактивті түрде зерттеуге мүмкіндік береді. Мукашева және Ермаганбетова [7] оқу бағдарламаларын әзірлеудің қажеттілігіне назар аударады, олар тек теориялық білімге ғана емес, сонымен қатар бағдарламалау дағдыларын практикалық қолдануға да бағытталған. Бұл Python тілінде өз ойындарын әзірлеуге мүмкіндік беретін жобалық тапсырмаларды қамтиды, осылайша оқушылар алған білімдерін практикада бекітеді. Нургалиеваның [8] мақаласында программалауды оқытуға қатысты қолданыстағы методологиялық тәсілдер қарастырылады, технологиялар мен интерактивті контентті интеграциялаудың маңыздылығына ерекше назар аударылады. Бұл оқушылардың деңгейін ескеретін курстарды жасауға мүмкіндік береді және оқу процесін икемді етеді. Осылайша, жоғары сынып оқушыларын Python-да ойын жасауға үйрету әдістемесі жобалық және аралас оқытуды, ойын қозғалтқыштары мен кітапханаларды пайдалану, сондай-ақ командалық жұмыс пен алгоритмдік ойлауға назар аударуды қамтиды. Бұл әдістер оқушылардың программалауға деген қызығушылығын арттырады және компьютерлік ойындарды әзірлеу үшін қажетті дағдылардың дамуына септігін тигізеді.

Дегенмен, жоғары сынып оқушыларын Python-да ойын жасауға оқытудың жүйелі тәсілі мәселесі жеткілікті зерттелмеген. Осы мақалада жоғары сынып оқушыларының жастық және психологиялық ерекшеліктерін, сондай-ақ заманауи педагогикалық тәсілдерді ескере отырып, әдістеме ұсынылады.

Python-да ойын жасауға оқыту жобалық тәсілге негізделген, ол келесі кезеңдерді қамтиды:

1. Python негіздеріне теориялық кіріспе. Бұл кезеңде оқушылар тілдің негізгі конструкцияларын: айнымалылар, циклдер, шартты операторлар, функциялар мен объектілерді зерттейді.
2. Pygame кітапханасымен танысу. Pygame — Python-да игеруге ең қолайлы кітапханалардың бірі, ол екі өлшемді ойындар жасауға мүмкіндік береді. Оқушылар кітапхананың негізгі функцияларын игереді, мысалы, ойын терезесін жасау, объектілерді салу және оқиғалармен жұмыс жасау.
3. Ойын жобалау. Бұл кезеңде ойын идеясы таңдалып, концепция мен код құрылымы әзірленеді. Оқушылар топтарда жұмыс істейді, бұл олардың ынтымақтастық және жобалық ойлау дағдыларын дамытады.
4. Ойынның негізгі элементтерін программалау. Бұл кезеңде оқушылар ойын кейіпкерлерін басқару, ойын интерфейсін жасау және пайдаланушымен әрекеттесу үшін код жазады.
5. Тестілеу және түзету. Оқушылар кодтағы қателерді табуға және түзетуге үйренеді, бұл аналитикалық дағдыларын дамытады.
6. Жобаларды таныстыру. Соңғы кезеңде оқушылар өз жобаларын сынып алдында көрсетеді, бір-бірінің жұмыстарын бағалап, мүмкін болатын жетілдірулерді талқылайды.
7. Платформалар мен құралдар

1-кесте. Бағдарламалау негіздерін үйренуге арналған ойын орталары

Платформа	Сипаттама
Code.org https://code.org/	Code.org жобасы бағдарламалау негіздерін үйретуге арналған платформа. Оның мазмұны программалау тілдерінің негізгі ұғымдарын қамтып, оқушылардың бағдарламалау туралы түсінігін қалыптастыруға бағытталған. Оқыту ойын түріндегі квест арқылы жүргізіледі, әртүрлі күрделілік деңгейлері бар тапсырмалар мен басқатырғыштар бағдарламалау дағдыларын дамытады. Платформаның интерфейсі

	қарапайым және түсінікті, бұл оны бағдарламалауды жаңа бастап жатқан оқушыларға оңай қолжетімді етеді.
Blockly https://blockly.ru/	Блокты визуалды бағдарламалау ортасы.Сайт әртүрлі деңгейдегі тапсырмаларды (қарапайымнан күрделіге дейін) ұсынады. Бағдарламалау негіздерін үйренуге, деректері оқуда да қолдануға болады. Мекемелерге және өздігінен оқуға арналған.
ColoBot https://colobot.info/	үш өлшемді оқыту стратегиялық ойыны. Epsitec SA компаниясы әзірлеген. Ойын балаларға (10 жастан асқан) ойын түрінде бағдарламалау дағдыларын үйретуге арналған.
JavaRush https:// javarush.com/ quests	JavaRush — Java, Python бағдарламалау тілін үйренуге арналған онлайн-платформа. Оқыту ойын түрінде құрастырылған, бұлпайдаланушыларға тәжірибелік тапсырмаларды орындау арқылы кодтау дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді. Курста әртүрлі деңгейдегі тапсырмалар мен жобалар бар, ал платформа интерфейсі мен құрылымы жаңадан үйренушілерге де ыңғайлы.
CodeCombat https:// codecombat.com/	пайдаланушыларға бағдарламалауды үйренуге мүмкіндік беретін интерактивті ойын. Бұл ойын графикалық шағын квесттер мен есептерден тұрады, оларды шешу барысында пайдаланушылар Python, JavaScript, CoffeeScript немесе Lua бағдарламалау тілдерінің бірін таңдай алады.
Joyteka https:// joyteka.com/ru	Learnis — веб-қызмет, пайдаланушыларға квесттер, викториналар және ойындар жасауға арналған электрондық интерактивті қосымшалар жиынтығын ұсынады.
Microsoft MakeCode https:// www.microsoft.com/en-us/makecode	Балаларға бағдарламалауды үйретуге арналған интерактивті платформа, онда пайдаланушылар блоктық редакторларды пайдалана отырып, қызықты жобалар жасайды. Бұл қызмет тегін болып табылады және барлық платформалар мен браузерлерде қолжетімді. Блоктар тікелей JavaScript немесе Python бағдарламалау тілдеріне код жолдарымен сәйкестендіріледі.
Minecraft Education Edition (Minecraft EDU) https:// education.minecraft.net/ru-ru	Microsoft корпорациясымен бірлесіп әзірленген Code.org веб-сайтының филиалы, ол Minecraft ойынына негізделген білім беру жобасы. Minecraft — блоктарды орналастыру және бұзу арқылы ойыншыларға шексіз мүмкіндіктер беретін шығармашылық платформа.
CheckiO https://checkio.org/	Бұл ресурс TypeScript және Python тілдерінде бағдарламалауды визуалды түрде үйренуге мүмкіндік береді.

Жоғарыдағы платформалардың арасында Minecraft EDU және Microsoft MakeCode өздерінің бірегей ерекшеліктерімен ерекшеленеді. Біріншіден, платформалар білімді практикалық қолдануды қамтамасыз етеді, бұл бағдарламалауды оқытудағы маңызды болып табылады. Екіншіден, геймификация мен жобалық тәсілді пайдалану оқушылардың тартылуына ықпал етеді және оқытуды интерактивті әрі қызықты етеді.

Нәтижелер. Өткізілген зерттеу барысында 34 сағатқа есептелген Python тілінде ойын құруға арналған оқыту әдістемесі әзірленді. Әдістеме келесі негізгі аспектілерді қамтиды:

- Python тілінің негізгі құрылымдары және PyCharm ортасында жұмыс істеу: Бағдарламалау синтаксисі және негізгі ұғымдармен танысу.
- Циклдар: Әртүрлі цикл түрлерін және олардың қолданылуын зерттеу.
- Тізімдер: Тізімдермен жұмыс істеу және оларды өңдеу.
- Массивтер: Массивтер ұғымын түсіну және оларды Python-да пайдалану.
- Pygame кітапханасы: Ойындар мен графикалық қосымшаларды жасауға арналған Pygame-мен танысу.

Microsoft MakeCode платформасында:

- "Жылан" ойынын жасау. Үйренген материалды тәжірибеде қолдану үшін классикалық "Жылан" ойынын әзірлеу.
- "Жасырын сөзді тап" ойынын жасау. Логика мен креативтілікті дамытады.
- "Айқастырмалар мен нөлдер" ойыны" ойынын жасау. Алгоритмдер мен шарттарды зерттеуге арналған танымал үстел ойынын әзірлеу.
- "Жарыс" ойынын жасау. Басқару элементтерін қамтитын жарыс ойынын жасау жобасы.

Minecraft EDU платформасында:

- Шарттарды қолдану. Интерактивті элементтер құру үшін шарттарды пайдалана отырып, жобалар жасау.
- Жобалық жұмыс. Оқушылардың білімдерін тәжірибеде қолдануға мүмкіндік беретін практикалық жұмыс.
- Telegram-бот жасау. API-мен жұмыс негіздерін үйрену және Telegram үшін жеке бот жасау.
- Қорытынды жасау. Оқыту нәтижелерін талдау және қол жеткізілген жетістіктерді талқылау.

Сонымен қатар, оқушылардың материалды жақсырақ меңгеруіне көмектесетін интерактивті оқулық әзірленді және оқыту процесінде қолданылатын болады.

Талқылау. Python тілінде ойын жасауды үйретуге арналған 34 сағатқа есептелген әзірленген әдістеме — бұл бағдарламалауды оқытуда білімді интерактивті жобалар жасау арқылы практикалық қолдануға бағытталған кешенді тәсіл. Курста интеграцияланған PyCharm әзірлеу ортасын пайдалану оқушыларға бағдарламалау саласында қолданылатын құралдарды игеруге мүмкіндік береді. Бұл олардың бағдарламалауға деген сенімі мен құзыреттілігін арттырады. Python тілінде ойын жасауды үйретуге арналған әдістеме мектептегі бағдарламалауды оқыту саласында маңызды қадам болып табылады. Дәстүрлі курстар көбінесе теория мен алгоритмдерге бағытталған болса, біздің тәсіл білімді тәжірибеде қолдану арқылы пәнге оқушылардың қызығушылығын едәуір арттыра алады. Сонымен қатар, Minecraft EDU және Microsoft MakeCode секілді ойын платформаларын кіріктіру оқу процесіне ойын элементін қосады және бағдарламалауға оң көзқарас қалыптастырады. Бұл платформалар ойын жобаларын құру мүмкіндігін береді. Бұл өз кезегінде оқушылардың шығармашылық және сын тұрғысынан ойлау қабілеттерін дамытады. Әдістеменің әрбір модулі, бастапқы негіздерден бастап "Жылан ойыны", "Айқастырмалар мен нөлдер" сияқты күрделі жобалар мен Telegram ботының жасалуына дейін Python тілінің негізгі бөліктерін қамтиды. Бұл оқушылардың техникалық дағдыларын дамытуға ғана емес, сондай-ақ, сын тұрғысынан ойлау, креативтілік және топтық жұмыс дағдыларын қалыптастыруға да ықпал етеді. Курста қамтылған "Жасырын сөзді тап" және "Жарыс" секілді жобалар ойын элементтерін оқушылардың қызығушылығы мен белсенділігін арттыру үшін пайдалануға болады. Бұл ойындар оқу процесін қызықты етіп қана қоймай, оқушыларға теориялық білімді тәжірибеде қолдануға көмектеседі және пәнді тереңірек түсінуге ықпал етеді.

Қиындықтар арасында күрделі алгоритмдерді түсіндіруге және кодты түзетуге қосымша уақыт қажет екенін атап өтуге болады. Болашақта әдістемені жетілдіру мақсатында деректер базасымен жұмыс немесе көп пайдаланушылы ойындар сияқты күрделілік элементтерін қосу ұсынылады.

Қорытынды. Жүргізілген зерттеу нәтижесінде Python тілінде ойындар жасауға арналған қазақ тіліндегі әдістеме әзірленді. Әдістеменің басты ерекшелігі – білімді тәжірибелік қолдануға негізделуінде. Бұл оқушыларға бағдарламалаудың теориялық негіздерін игеріп қана қоймай, интерактивті жобалар жасау арқылы креативті және алгоритмдік қабілеттерін дамытуға мүмкіндік береді. Әдістеменің негізгі элементі ретінде геймификация оқушылардың қызығушылығын арттыруға ықпал етеді, бұл оқу процесін

қызықты әрі тиімді етеді. Pygame кітапханасы және PyCharm сияқты интеграцияланған бағдарламалау орталарын пайдалану оқушыларға заманауи бағдарламалау құралдарын игеруге жағдай жасап, олардың жұмыстарының сапасын арттырады және өз күштеріне деген сенімділікті қалыптастырады.

Әдебиеттер тізімі

1. Roberts, K., Johnson, M., & Smith, L. The Impact of Game Development on Student Engagement in Programming Courses. Journal of Educational Technology, 2020y., 45(3), 123-138.
2. Петрова, А. Программирование на Python: от простого к сложному. Образование и информационные технологии, 2019 г., 10(2), 45-56.
3. Сидоров, И. Игровые элементы в обучении программированию: теория и практика. Современные подходы в образовании, 2021 г., 15(1), 67-75.
4. Wang, Y., & Liu, Q. Using Pygame for Game Development Education: A Practical Approach. Computers & Education, 2020y., 157, 103968.
5. Lee, H., & Kim, J. Fostering Algorithmic Thinking through Game Creation with Python. I nternational Journal of STEM Education, 2020y., 7(1), 15.
6. Yu, C., & Wang, X. Blended Learning in Python Programming: Integrating Traditional and Digital Tools. Educational Technology Research and Development, 2021y., 69(4), 1013-1030.
7. Мукашева, А., & Ермаганбетова, Л. Разработка учебных программ по программированию: теоретические и практические аспекты. Педагогические технологии, 2023 г., 9(1), 34-42.
8. Нургалиева, С.Методологические подходы к обучению программированию: интеграция технологий и контента. Научный вестник, 2019 г., 5(2), 22-30.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ АММИАКА В ВОЗДУХЕ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Л.Б. Абдижалилова[1*], Н.Қ. Қуандықов[1], М.К. Ибраим[2], Т.С. Дуйсебаев[3], А.А. Скабылов[1]

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Коммунальное государственное учреждение Павлодара № 17, Павлодар, Казахстан
[3]ЧУ NLA Назарбаев Университет, Лаборатория возобновляемых источников энергии, Астана, Казахстан

Аннотация. *В данной работе представлена система мониторинга уровня аммиака в воздухе, реализованная на основе микроконтроллера Arduino Uno. В качестве сенсора использован самостоятельно разработанный датчик аммиака, который подключен к аналоговому входу контроллера. Система включает в себя автоматическое управление вентилятором с использованием реле, что позволяет эффективно реагировать на превышение порогового значения концентрации аммиака в воздухе. В дополнение к этому, предусмотрено оповещение пользователя с помощью пьезоэлектрического динамика, а также отображение текущих показаний на LCD-дисплее, подключенном через интерфейс I2C. Разработанная система демонстрирует высокую степень адаптивности и может быть легко модифицирована для работы с другими газовыми сенсорами, что значительно расширяет её возможности применения в различных областях, таких как экология, промышленность и безопасность. В ходе исследования были проведены тестирования, результаты которых подтверждают эффективность предложенного решения в реальных условиях.*

Ключевые слова: *аммиак, мониторинг, Arduino Uno, датчик, автоматическое управление, I2C, экология, безопасность.*

1. Введение

Мониторинг уровня аммиака в воздухе является важной задачей, учитывая его потенциальную опасность для здоровья человека и окружающей среды. Аммиак (NH_3) — это бесцветный газ с резким запахом, который может вызывать раздражение дыхательных путей, а в высоких концентрациях — серьезные проблемы со здоровьем, включая повреждение легких [1, 2, 3]. В связи с этим, разработка эффективных систем мониторинга уровня аммиака становится все более актуальной, особенно в промышленных и сельскохозяйственных зонах, где его выбросы могут быть значительными [4].

Существующие методы мониторинга уровня аммиака включают использование различных типов датчиков, таких как электрохимические, оптические и полимерные сенсоры. Например, исследования показывают, что полимерные пленки могут быть использованы в качестве чувствительных материалов для газовых сенсоров, что позволяет достичь высокой чувствительности и быстроты реакции [5]. Однако, несмотря на достижения в этой области, многие из существующих систем остаются дорогими и сложными в использовании, что ограничивает их применение в широком круге задач.

В данной работе предлагается система мониторинга уровня аммиака, основанная на микроконтроллере Arduino Uno, которая сочетает в себе простоту, доступность и высокую эффективность. Arduino Uno является популярной платформой для разработки различных электронных устройств благодаря своей открытой архитектуре и широкому сообществу разработчиков [6]. Использование этой платформы позволяет создавать системы, которые могут быть легко адаптированы под конкретные требования пользователя и условия эксплуатации.

Система включает в себя автоматическое управление вентилятором, что позволяет оперативно реагировать на превышение порогового значения концентрации аммиака. Это решение может быть особенно полезным в помещениях с высоким риском накопления аммиака, таких как фермерские хозяйства или предприятия, занимающиеся переработкой отходов [7]. Кроме того, система оснащена пьезоэлектрическим динамиком для оповещения пользователей о превышении допустимых значений, а также LCD-дисплеем для отображения текущих показателей, что делает её удобной в использовании [8].

Таким образом, разработанная система не только отвечает требованиям по мониторингу уровня аммиака, но и предоставляет возможность дальнейшей модификации и расширения функционала, что открывает новые горизонты для её применения в различных областях, включая экологический мониторинг, промышленность и безопасность [9]. В этом контексте, данное исследование представляет собой значимый вклад в развитие доступных и эффективных технологий для контроля качества воздуха.

2. Материалы и методы

2.1 Чувствительный элемент сенсора

В данной работе для создания сенсора уровня аммиака использован процесс электрохимического травления, аналогичный тому, который применяли наши коллеги в предыдущих исследованиях [10, 11]. В качестве чувствительного элемента использовались образцы пористого кремния (ПК), изготовленные из кристаллических кремниевых пластин (c-Si), легированных бором p-типа, с ориентацией (100) и удельным сопротивлением 10 Ом·см. Процесс анодирования проводился на пластинах размером 2,1 см × 2,1 см с использованием электролита на основе плавиковой кислоты (40%) и этоксиэтанола в объемном соотношении 1:2. Перед травлением поверхность подложек очищали с помощью этанола и ацетона, что обеспечивало высокое качество получаемых образцов.

Для оптимизации параметров электрохимического травления были проведены несколько экспериментов, результаты которых представлены в таблице 1. В ходе экспериментов варьировались плотность тока анодирования, величина приложенного напряжения и время травления, что позволило определить эффективные параметры для создания наноструктур. После завершения процесса травления образцы промывали водой и сушили на воздухе, что способствовало получению однородных и стабильных пористых структур.

Таблица 1. Параметры электрохимического травления двумерных пористых образцов кремния.

Эксперимент	Плотность тока анодирования, мА/ $см^2$	Величина приложенного напряжения, В	Время травления, мин
1	5	9	60
2	10	12	50
3	20	17	30
4	30	25	20
5	40	30	15
6	50	40	5
7	12	9	45
8	17	12	30

Для оценки электрических характеристик полученных образцов была проведена вольт-амперная характеристика. Для установления связи между электронными устройствами, используемыми для получения электрических характеристик, на поверхность пленки был установлен омический контакт из сплава InGa. Производственные параметры определялись через зависимость силы тока от времени, что позволяло установить эффективные параметры для обнаружения газа в пористых кремниевых пленках, служащих чувствительным элементом сенсора, полученным при различных плотностях тока.

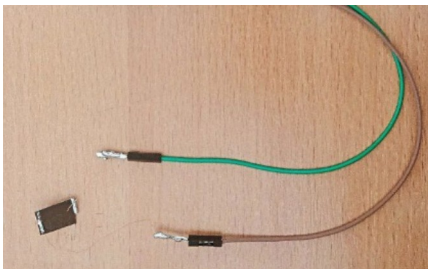


Рисунок-1. Сенсорный элемент датчика аммиака для мониторинга качества воздуха

Таким образом, описанный процесс электрохимического травления и последующая характеристика образцов обеспечивают надежную основу для разработки сенсоров, способных эффективно обнаруживать аммиак в различных условиях эксплуатации.

2.2 Электронный газовый сенсор

В данной системе используется Arduino Uno R3, который представляет собой микроконтроллер, управляющий всеми процессами мониторинга концентрации аммиака. Газовый сенсор, работающий на основе аналогового принципа, предназначен для измерения концентрации аммиака в воздухе. Он подключен к аналоговому входу A0 микроконтроллера, что позволяет ему передавать данные о концентрации газа через аналого-цифровой преобразователь. Эти данные затем анализируются для определения, превышает ли концентрация аммиака допустимый порог.

При превышении установленного порога концентрации аммиака, микроконтроллер отправляет сигнал на реле, которое управляет вентилятором. Вентилятор активируется для вентиляции помещения, что позволяет поддерживать безопасные условия. Реле получает питание от внешнего источника (12 В), что обеспечивает его независимость от питания Arduino. Это решение позволяет эффективно управлять вентиляцией в помещениях, где может происходить накопление аммиака.

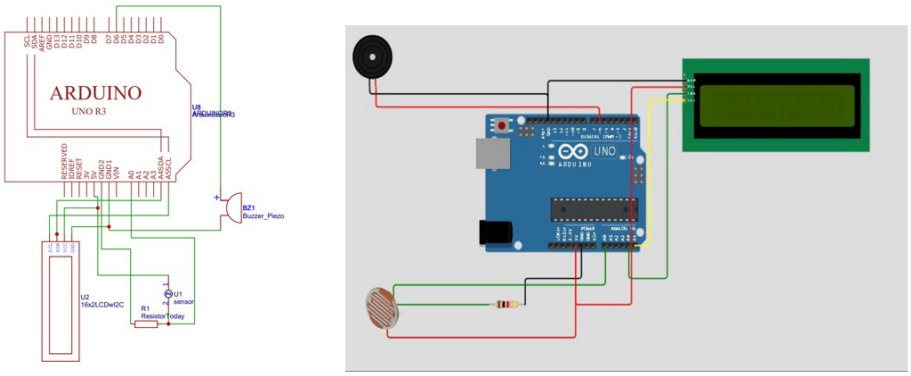
Кроме того, система включает буззер, который начинает издавать звуковой сигнал при превышении концентрации аммиака. Буззер подключен к цифровому выходу Arduino и работает по принципу "включено/выключено", что позволяет оперативно предупреждать о небезопасных условиях. Звуковая сигнализация является важным элементом системы безопасности, так как она обеспечивает мгновенное оповещение пользователей о потенциальной опасности.

Для визуализации данных используется LCD дисплей, подключенный к Arduino через интерфейс I_2C. Дисплей отображает текущие значения концентрации аммиака в реальном времени, а также информацию о состоянии вентилятора и звуковой сигнализации. Это позволяет пользователям оперативно отслеживать состояние системы и принимать необходимые меры.

Принципиальная схема устройства была смоделирована в программной среде KiCad, где были определены все соединения между компонентами. Газовый сенсор, реле, буззер и LCD дисплей были интегрированы в единую систему, что позволяет эффективно управлять

процессами мониторинга и реагирования на изменения концентрации аммиака. Финальная схема была перенесена в среду LPKF для разработки печатной платы, что обеспечило компактность и надежность всей системы.

На рисунке 2 показана принципиальная схема электронного газового датчика на основе ПК, построенная в программной среде EasyEDA (а) и визуальная модель (б).



а) б)

Рисунок-2. Принципиальная схема (а) и визуальная модель (б) электронного сенсора

Таким образом, разработанная система представляет собой интегрированное решение для мониторинга концентрации аммиака, которое сочетает в себе современные технологии и доступные компоненты, обеспечивая безопасность и эффективность в управлении вентиляцией.

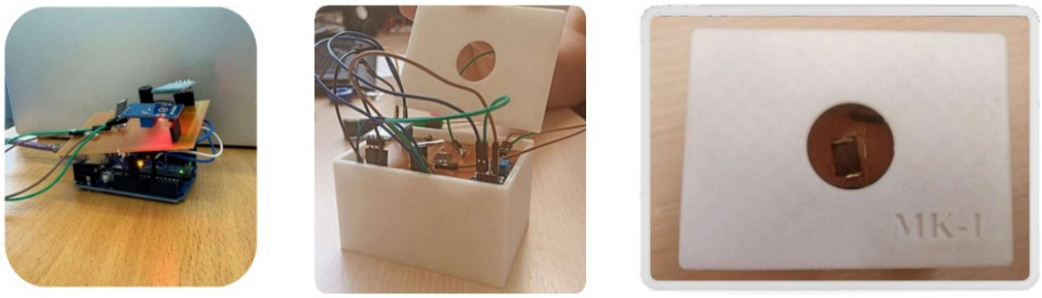


Рисунок-3. Опытный прототип электронного датчика газа в корпусе из PLA

3. Результаты и обсуждение

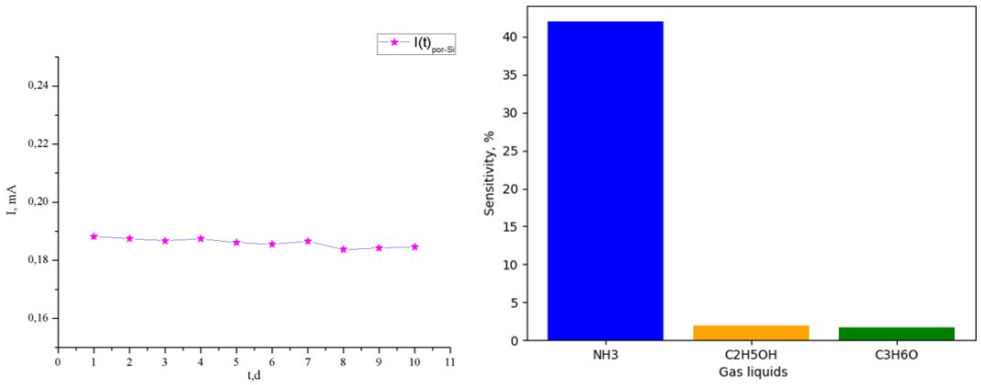
В ходе испытаний системы, основанной на платформе Arduino, было установлено, что датчик аммиака корректно реагирует на изменения концентрации газа в окружающей среде. При низких уровнях аммиака значения, отображаемые на LCD-дисплее, оставались стабильными и не превышали установленных пороговых значений. Как только концентрация газа превысила заданный порог, система активировала предусмотренные механизмы: пьезо-динамик включался, подавая звуковой сигнал, указывающий на превышение безопасного уровня аммиака, а реле активировало вентилятор для вентиляции контролируемой зоны. Эти результаты подтверждают правильную калибровку сенсора и стабильную работу устройства, что является критически важным для обеспечения безопасности в помещениях, где могут накапливаться вредные газы.

После активации реле вентилятор успешно снижал концентрацию аммиака в воздухе. Мониторинг данных на дисплее показал, что вентилятор эффективно поддерживал воздушный поток, что позволяло быстро вернуть уровень аммиака к безопасным

значениям. Система автоматически отключала звуковую и визуальную сигнализацию, как только концентрация газа возвращалась в норму. Это демонстрирует высокую эффективность системы в реальных условиях, где требуется оперативное реагирование на изменения в качестве воздуха.

Устройство было протестировано в различных условиях, и в каждом случае система реагировала на изменения концентрации газа с минимальной задержкой. Время реакции системы составило менее одной секунды, что делает её пригодной для использования в реальных условиях, где важно немедленное обнаружение вредных газов. Это подтверждает надежность системы, основанной на Arduino, в качестве инструмента для мониторинга и контроля окружающей среды.

Для оценки стабильности работы датчика аммиака в системе был проведён длительный мониторинг его чувствительности в течение 10 дней (рис. 6 (а)). Важным параметром стабильности является максимальный уровень изменения тока при воздействии газа. В проведённых испытаниях диапазон тока для выбранного сенсора колебался от 0,185 мА до 0,189 мА при воздействии аммиака. Эти результаты указывают на высокий уровень стабильности сенсора в условиях длительного воздействия, что совпадает с результатами, представленными в других исследованиях (рисунок-4 (а)) [12].



а) б)

Рисунок 4. Стабильность (а) и селективность (б) газового сенсора на основе ПК к парам газообразного аммиака

Кроме того, изучена селективность сенсора по отношению к другим газам, таким как спирт и ацетон (рисунок-4 (б)). Результаты показали, что сенсор на основе ПК демонстрирует значительно лучшую чувствительность к парам аммиака по сравнению с другими газами. Это указывает на высокую селективность устройства, что делает его особенно полезным для контроля именно за концентрацией аммиака в воздухе.

4. Заключение

Система мониторинга уровня аммиака, разработанная на базе микроконтроллера Arduino Uno, представляет собой инновационное и интегрированное решение для обеспечения безопасности и повышения эффективности в различных областях, таких как экология, промышленность и безопасность. Использование собственного датчика аммиака, который требует всего два пина для работы, подчеркивает ресурсосберегающий подход к проектированию, позволяя легко добавлять дополнительные сенсоры без ущерба для основного функционала системы.

Система демонстрирует высокую степень адаптивности и надежности, эффективно реагируя на изменения концентрации аммиака в реальных условиях. Результаты проведенных испытаний подтвердили стабильность работы устройства, а также его

способность оперативно активировать механизмы оповещения и вентиляции при превышении установленных пороговых значений.

Таким образом, разработанная система представляет собой эффективный инструмент для мониторинга уровня аммиака в воздухе, обладающий потенциалом для дальнейшего расширения и модификации в соответствии с потребностями различных секторов. Данная работа открывает новые возможности для разработки более сложных и эффективных систем мониторинга качества воздуха, способствующих улучшению безопасности и защиты окружающей среды.

Список литературы

1. Телятникова, А., Федоров, С., & Шабалин, В. (2022). Влияние сооружений на сетях канализации на качество атмосферного воздуха. Promyshlennoe I Grazhdanskoe Stroitel Stvo, (5), 66-71. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2022.05.66-71
2. Saadh M. J. et al. Adsorption of NH3, HCHO, SO2, and Cl2 gasses on the o-B2N2 monolayer for its potential application as a sensor //Diamond and Related Materials. – 2024. – Т. 147. – С. 111356.
3. Moshayedi A. J. et al. E-nose-driven advancements in ammonia gas detection: a comprehensive review from traditional to cutting-edge systems in indoor to outdoor agriculture //Sustainability. – 2023. – Т. 15. – №. 15. – С. 11601.
4. Wardoyo A. Y. P. et al. A Design of Ammonia Concentration Monitoring System Using Radio Communication //Journal of Applied Science and Advanced Engineering. – 2024. – Т. 2. – №. 1. – С. 23-26.
5. Matsuguchi, Masanobu, Tomoki Nakamae, Ryoya Fujisada, and Shunsuke Shiba. 2021. "A Highly Sensitive Ammonia Gas Sensor Using Micrometer-Sized Core–Shell-Type Spherical Polyaniline Particles" *Sensors* 21, no. 22: 7522. https://doi.org/10.3390/s21227522
6. Shahewaz S. B., Prasad C. R. Gas leakage detection and alerting system using Arduino Uno //Global Journal of Engineering and Technology Advances. – 2020. – Т. 5. – №. 3. – С. 029-035.
7. Sanger, R., Memah, V., Kambey, M., & Olii, D. (2022). Development of solar energy lamp using arduino uno. Jurnal Edunitro Jurnal Pendidikan Teknik Elektro, 2(2), 105-114. https://doi.org/10.53682/edunitro.v2i2.4360
8. Gunawan Dewantoro , Irwin Shauma Rizky, Budihardja Murtianta. 2020. Frequency response analysis of microcontroller-based discrete-time lead-lag compensators. Archives of electrical engineering.. https://doi.org/10.24425/aee.2020.134640
9. Önder, F., Önder, E., & Oğur, M. (2019). Determination of diode characteristics by using arduino. The Physics Teacher, 57(4), 244-245. https://doi.org/10.1119/1.5095382
10. Khaniyev B. A. et al. High sensitive NH3 sensor based on electrochemically etched porous silicon //Cogent Engineering. – 2020. – Т. 7. – №. 1. – С. 1810880.
11. Khaniyev, Bakyt, Margulan Ibraimov, Yerulan Sagidolda, Yerbolat Tezekbay, Tolagay Duisebayev, Ayan Tileu, and Ainur Khaniyeva. 2023. "The Improved Non-Polar Gas Sensing Performance of Surface-Modified Porous Silicon-Based Gas Sensors" *Coatings* 13, no. 1: 190. https://doi.org/10.3390/coatings13010190
12. Chai H. et al. Stability of metal oxide semiconductor gas sensors: A review //IEEE Sensors Journal. – 2022. – Т. 22. – №. 6. – С. 5470-5481.

Абдижалилова Лаззат Бахтиярқызы – студент 1 курса магистратуры по специальности «Электроника и коммуникационные технологии». Казахский национальный университет имени аль-Фараби; 050000, Алматы; e-mail: abdijalil.lazzat@bk.ru

Куандыков Нурдаулет Кайратбекулы – студент 4 курса бакалавриата по специальности «Промышленная электроника и системы управления». Казахский национальный университет имени аль-Фараби; 050000, Алматы;

Ибраим Махаббат Касеновна – учитель в Коммунальном государственном учреждении Павлодара N17; 050000, Алматы;

Дуйсебаев Толагай Сабыржанулы – ассистент исследователя. Лаборатория возобновляемых источников энергии Назарбаев университет; 010000, Астана;

Сқабылов Алишер Алиулы – PhD, старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики. Казахский национальный университет имени аль-Фараби; 050000, Алматы.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРНЕТ РЕСУРСОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ОСНОВАМ ИИ

С.А. Байелі
Международный университет Астана, Казахстан

Применение интернет-ресурсов с искусственным интеллектом для обучения школьников основам ИИ открывает возможности для развития персонализированных подходов к обучению и повышения его эффективности. В данной статье мы рассмотрим вызовы и возможности генеративного искусственного интеллекта в образовании для педагогических инноваций и роли интернет ресурсов с ИИ в формировании новых образовательных подходов в обучении основам ИИ в школе.

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) — одна из самых значительных технологий XXI века, которая оказывает значительное влияние на современные технологии и человеческую деятельность, охватывая такие области, как образование, медицина, бизнес и индустрия развлечений. ИИ находит широкое применение в анализе данных, машинном обучении, компьютерном зрении и других инновационных технологиях, которые трансформируют как отдельные отрасли, так и общество в целом.

GAI (генеративный ИИ) в образовании

Внедрение таких инструментов, как ChatGPT, привело к активному использованию генеративного ИИ в образовательных учреждениях по всему миру. Исследования показали, что GAI обладает потенциалом для создания оригинального контента, но контент не всегда достоверный, включая текст, изображения и даже видео, что может радикально изменить традиционные методы преподавания [1].

Быстрое развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ), особенно в форме генеративных моделей, таких как ChatGPT, действительно вносит значительные изменения в образовательную систему. Одной из ключевых областей, где влияние ИИ наиболее заметно, является процесс оценки учебных достижений. Традиционные методы, такие как тесты и экзамены, несмотря на их широкое использование, имеют ряд недостатков. Они часто не отражают полную картину знаний и навыков учащихся, не учитывают различные стили обучения и могут создавать трудности в обеспечении справедливого и объективного оценивания [4].

Несмотря на многочисленные преимущества, GAI несет с собой и значительные вызовы. Одним из ключевых аспектов является вопрос о честности и прозрачности использования ИИ в образовательных системах. Возникает необходимость пересмотра этических стандартов, особенно в отношении защиты данных учащихся и обеспечения их конфиденциальности [6]. Также следует учитывать потенциальные негативные социальные последствия, такие как усиление неравенства в доступе к образованию в зависимости от возможностей использования технологий [3].

В том числе, ЮНЕСКО (Организация Объединённых Наций по вопросам образования, науки и культуры) активно занимается разработкой этических стандартов в области искусственного интеллекта (ИИ). В 2021 году ЮНЕСКО приняла "Рекомендацию по этике искусственного интеллекта", которая является первым глобальным нормативным документом, направленным на регулирование использования ИИ с учетом этических принципов.

Тем не менее, ИИ также предлагает значительные возможности для педагогических инноваций. Интеграция этих технологий в процесс обучения не только открывает новые горизонты, но и способствует изменению парадигмы преподавания и оценки, делая их более адаптивными и персонализированными.

Эти инструменты, как ChatGPT, позволяют адаптировать процесс обучения, предлагая индивидуализированный подход, который учитывает уровень знаний, стиль обучения и потребности каждого ученика [2].

Особенно полезным генеративный ИИ оказывается в инклюзивном образовании. Инструменты на базе ИИ могут помочь учителям в преодолении сложностей, возникающих в инклюзивной среде, предоставляя специализированные решения, которые могут улучшить образовательный опыт для учащихся с особыми потребностями [3].

GAI позволяет создавать более точные и всесторонние модели оценки, которые анализируют мыслительные процессы учащихся и их способность решать проблемы [5].

С точки зрения справедливости, системы на базе ИИ устраняют влияние предвзятостей, что гарантирует более равные условия для всех учеников [6]. Учителя могут использовать GAI для мониторинга прогресса учащихся в реальном времени, получая более детализированную информацию о результатах и психологическом состоянии учащихся. Это позволяет разрабатывать индивидуальные стратегии улучшения и обратную связь, что значительно повышает эффективность образовательного процесса [7].

GAI также выступает в роли наставника для учащихся, предлагая междисциплинарные подходы и предоставляя обратную связь на нескольких уровнях [8]. Учителя могут использовать взаимодействие с большими языковыми моделями для более точной оценки глубины понимания материала учениками. Это особенно актуально в сложных дисциплинах, таких как программирование, где GAI помогает оценить навыки и предлагает пути для дальнейшего обучения.

Рост технологий генеративного ИИ в образовании открывает возможности для значительных инноваций, преодолевая традиционные образовательные ограничения и предлагая более гибкие, персонализированные подходы к обучению и оценке. Хотя на первых этапах внедрения GAI может казаться угрозой устоявшимся методам, его правильное использование может привести к существенному улучшению качества образования. Педагоги, принимая новые технологии, могут не только адаптироваться к изменяющемуся ландшафту, но и превратить этот процесс в источник новых возможностей для улучшения образовательной среды и результатов.

Практический опыт привел к разработке инновационной методике обучения школьников технологиям искусственного интеллекта. Эта методика предоставляет учащимся, с одной стороны, необходимые теоретические знания о современных технологиях искусственного интеллекта, а с другой стороны, возможность получить реальный практический опыт, который в конечном итоге позволяет им создать свой проект, основанный на использовании искусственного интеллекта для решения конкретной практической задачи. Ниже представлена подборка ссылок на онлайн-сервисы, функционирующие на основе технологий искусственного интеллекта, чтобы обучающиеся могли на практике, на конкретных примерах познакомиться с областями применения искусственного интеллекта, не прибегая к программированию. Современные системы ИИ способны воспринимать окружающий мир с помощью датчиков и сенсоров, преобразующих внешние сигналы в цифровые данные. Такие технологии, как PoseNet, используются для анализа и распознавания визуальных данных, что открывает возможности для применения в таких областях, как обучение, виртуальная реальность и медицина [9].

Представление мира в виде данных — это основа, на которой строятся рассуждения ИИ-систем. Процесс представления включает создание моделей объектов, событий и

отношений, что позволяет искусственным агентам принимать решения на основе анализа этих данных. Например, ресурс Real or Fake предлагает игру, где обучающиеся видят одно изображение за раз и должны решить, является ли оно реальным или сгенерированным. Нажав на ответ, игра фиксирует их выбор и отслеживает счет. Этот инструмент развивает навыки критического мышления и анализа, а также демонстрирует применение ИИ в распознавании визуальной информации. Процесс представления включает создание моделей объектов, событий и отношений, что позволяет искусственным агентам принимать решения на основе анализа этих данных. Например, ресурс Quick, Draw! предлагает пользователям нарисовать заданный объект как можно быстрее, следуя за таймером. По завершении система ИИ пытается угадать, что именно нарисовано, используя вероятностные модели. Такие технологии могут также предсказывать результаты обучения учеников на основе их прошлых оценок и поведения в классе, демонстрируя потенциал ИИ в образовательных процессах [10].

Применение таких технологий в образовательной системе также помогает учителям персонализировать учебный процесс и своевременно реагировать на успехи или трудности учеников. Представление и рассуждение также используются в системах автоматизированной оценки, что позволяет объективно оценивать успеваемость студентов [11].

Ресурс Quick, Draw! может служить отличной отправной точкой для погружения в мир машинного обучения. Существуют три основных типа машинного обучения: обучение с учителем, обучение без учителя и обучение с подкреплением [14]. А именно ресурс Quick, Draw! основан на обучении с учителем и наглядно демонстрирует ученикам, как алгоритмы искусственного интеллекта распознают нарисованные объекты.

Натуральное взаимодействие между ИИ и людьми требует интеграции различных технологий, таких как обработка естественного языка, распознавание речи и компьютерное зрение. Например, в ресурсе Human or Not участникам даётся две минуты на разговор с другим игроком, чтобы определить, кто их собеседник — человек или ИИ. Нужно обращать внимание на стиль общения, ответы и взаимодействие. По завершении вы принимаете решение: человек это или AI-бот, и игра покажет, были ли вы правы. Такие технологии позволяют ИИ-системам понимать человеческую речь, эмоции, и невербальные сигналы, делая общение с ними более интуитивным и естественным. Примером могут служить учебные чат-боты, которые помогают студентам справляться с учебными задачами в режиме реального времени, отвечая на вопросы и предлагая ресурсы [12]. Такие системы активно применяются в онлайн-обучении, повышая доступность образования и предоставляя ученикам дополнительные возможности для развития.

ИИ оказывает значительное социальное влияние, как положительное, так и отрицательное. Например, в ресурсе Moral Machine пользователи сталкиваются с этическими дилеммами и должны сделать выбор, какой исход они считают более приемлемым. После этого можно увидеть статистику, показывающую, как другие участники ответили на ту же дилемму, что позволяет сравнить свое решение с общественным мнением. С одной стороны, ИИ значительно улучшает качество жизни, автоматизируя рутинные задачи и предоставляя новые возможности в образовании и работе [13]. В здравоохранении, например, ИИ помогает диагностировать заболевания и предлагать персонализированные методы лечения, что делает медицинскую помощь более доступной и эффективной.

С другой стороны, развитие ИИ вызывает вопросы, связанные с конфиденциальностью данных, этикой и предвзятостью. Алгоритмы ИИ могут содержать встроенные предвзятости, что приводит к несправедливому распределению ресурсов или принятия решений в таких областях, как трудоустройство или образование [14]. Поэтому

общество должно активно участвовать в разработке правил и стандартов для этичного использования ИИ.

Этика ИИ

Искусственный интеллект предлагает множество возможностей для улучшения образования и социальных процессов, однако его внедрение требует тщательного анализа и разработки этических норм. В образовательной среде ИИ может быть использован для создания персонализированных учебных программ, автоматизированной оценки и анализа данных. В то же время социальные последствия использования ИИ требуют создания систем справедливого распределения ресурсов, защиты личных данных и предотвращения предвзятостей в алгоритмах.

Развитие искусственного интеллекта (ИИ) продолжает трансформировать общество, и перед нами стоит задача использовать эту технологию для улучшения качества жизни, сохраняя при этом этические стандарты и заботясь о возможных рисках. ИИ как отрасль информационных технологий охватывает множество аспектов, включая машинное обучение, нейронные сети, компьютерное зрение и обработку естественного языка. Эти технологии позволяют системам ИИ воспринимать окружающий мир с помощью сенсоров и датчиков, а также анализировать огромные массивы данных для принятия обоснованных решений на основе полученных выводов.

Data Science (наука о данных) и сервисы основанных на ИИ

Важную роль в развитии ИИ играет Data Science (наука о данных). Перед тем как применять машинное обучение, данные необходимо правильно обработать и визуализировать. Это включает в себя удаление лишней или некорректной информации и приведение данных к единому формату. Для повышения эффективности анализа полученных результатов важно научиться визуализировать данные, т. е. представлять их в наглядном виде с помощью графиков и диаграмм. Предобработка и визуализация данных в практической части школьного курса информатики, изучается с возможностями Python-библиотек Pandas, NumPy, Matplotlib.

Интеграция выше перечисленных библиотек в школьный курс информатики поможет учащимся развить навыки работы с данными, которые являются критически важными в современном мире. Это также даст им представление о практических аспектах науки о данных и подготовит их к более сложным концепциям в будущем. Эти библиотеки позволяют создавать визуализации, которые помогают выявлять корреляции, закономерности и аномалии в данных.

Современная школьная практика других стран в обучении основам искуственного интеллекта рекомендуют использовать онлайн-сервисов, основанных на ИИ.

Google Teachable Machine (https://teachablemachine.withgoogle.com/): Сервис, который позволяет обучать модели для распознавания изображений, звуков и поз без необходимости программирования. На сервисе уделено внимание популярным датасетам изображений, в частности набору рукописных цифр MNIST, применение которого используется как материал для изучения работы сверточных нейронных сетей в курсе информатики в школе [16], и библиотеке OpenCV как одной из самых популярных, наиболее востребованных современных библиотек компьютерного зрения [17].

Онлайн-сервис Teachable Machine, позволяет достаточно просто создать классификатор компьютерного зрения. При этом образцы изображений для каждого класса можно как загрузить с компьютера, так и получить, сделав снимки объекта на веб-камеру в разных ракурсах. На сервисе дается подробная пошаговая инструкция по работе с ним.

Результат обучения классификатора (модель TensorFlow) можно скачать и воспользоваться моделью в своем проекте на основе компьютерного зрения, применив код на Python в среде разработки для целей распознавания объектов с видеопотока веб-камеры,

он стал одним из самых популярных языков программирования для разработки приложений в области искусственного интеллекта благодаря своей простоте, многофункциональности и обширному набору библиотек [15].

Google Colab (Google Collaboration). Эта облачная платформа предоставляет учителям и ученикам доступ к мощным вычислительным ресурсам и инструментам для работы с программированием, анализом данных и искусственным интеллектом.

На практических занятиях в Google Colab обучающиеся создают нейронную сеть которая может распознавать изображение одежды, используется готовый набор данных который содержит 70 тысяч изображений различных видов одежды. Используется бесплатная библиотека изображений Fashion MNIST, компании Zalando. Ученики работают в бесплатной среде для разработки и выполнения программного кода в облаке Google Colab. В Colab можно использовать различные библиотеки Python, включая популярные библиотеки для анализа данных и машинного обучения, например TensorFlow. Также можно загружать и обрабатывать свои данные или работать с данными из интернета.

Работа с базой данных Fashion MNIST в Google Colab позволяет ученикам освоить основы машинного обучения и программирования на Python. Учащиеся могут загрузить набор данных, содержащий изображения одежды, и научиться нормализовать данные для улучшения производительности модели. С помощью библиотеки TensorFlow они создадут простую нейронную сеть, которая обучится распознавать 10 классов одежды. После обучения модель можно протестировать на новых данных, оценив её точность и визуализировав предсказания. Этот процесс способствует развитию критического мышления, аналитических навыков и практических навыков в программировании. Использование Google Colab в образовательном процессе открывает новые возможности для обучения программированию и искусственному интеллекту.

Заключение

Такой подход дает возможность школьникам научиться обобщенным способам деятельности для эффективного использования средств искусственного интеллекта, позволяет формировать знания и умения для самостоятельного освоения различных средств информационных технологий, используя доступные онлайн-сервисы и программное обеспечение.

Список литературы:

1. Wu, Y., Zhang, Q., & Li, Z. Transforming Education through AI: Emerging Trends and Practical Applications. Educational Technology Research and Development, 2023 - 71(4), 945-960.
2. Bahroun, Z., El Afia, A., & Elhoussi, H. Artificial Intelligence in Education: Current Trends and Future Directions. Education and Information Technologies, 2023 - 28(1), 67-87.
3. Jeon, M. & Lee, H. AI Integration in Special Education: Opportunities and Challenges. Journal of Learning Disabilities, 2023 - 56(3), 181-199.
4. Ratten, V., & Jones, P. AI-Driven Education: New Methods for Learning and Assessment. International Journal of Educational Research, 2023 - 105, 101723.
5. Cooper, J. The Role of Generative AI in Personalized Learning. Journal of Educational Technology, 2023 - 35(2), 42-59.
6. Nikolic, S., Tosic, V., & Pavlovic, M. Ethics in AI-Assisted Education: Ensuring Fairness and Transparency. AI & Society, 2023 - 38(2), 177-192.
7. de Laat, M., Lund, K., & Martinez-Maldonado, R. Real-Time Assessment and Feedback Using Generative AI. Computers & Education, 2023 - 192, 104682.

8. Lozano, L., Marsal, G., & del Rio, S. Interdisciplinary Applications of Generative AI in Education. Artificial Intelligence Review, 2023 - 45(5), 961-982.
9. Cao, Z., Hidalgo, G., Simon, T., Wei, S. E., & Sheikh, Y. OpenPose: Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2019 - 43(1), 172-186.
10. Russell, S., & Norvig, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Pearson, 2020.
11. Lozano, C., Wu, X., et al. Evaluation and Learning with Generative AI. Computer Science Education Review, 2023 - 35(2), 29-45.
12. Jeon, J., & Lee, S. AI Chatbots in Online Education: The Future of Learning. International Journal of Educational Technology, 2023 - 19(4), 88-102.
13. Bahroun, Z., Nikolic, M., et al. Generative AI in Education: Opportunities and Challenges. Educational Technology Review, 2023 - 42(3), 12-27.
14. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. Deep Learning. MIT Press, 2016.
15. Розов, К. В., & Шрайнер, Б. А. Основы ИИ: Практическое руководство для школ и вузов.
16. Самылкина Н. Н., Калинин И. А. Изучение работы нейронной сети на примере распознавания рукописных цифр с использованием языка программирования Python 3.8 в углубленном курсе информатики // Информатика в школе, 2021.
17. Розов, К. В., & Шрайнер, Б. А. Введение в компьютерное зрение: Практическое пособие.

Байелі Сымбат Амірқызы – магистрант. Астана халықаралық университеті; 010000, Астана; e-mail: amirovna009@gmail.com

Evolution of VPN Security: From PPTP to WireGuard

D.A. Tursunov
Astana IT University, Астана, Республика Казахстан
e-mail: didar_tursunov2@mail.ru

This article traces the evolution of Virtual Private Network (VPN) security from early protocols to modern solutions. It examines the progression from PPTP and L2TP/IPsec to advanced protocols like OpenVPN, IKEv2, and WireGuard. The study highlights key trends in VPN development, including stronger encryption, improved authentication, and simplification of secure configurations. Future challenges, such as quantum computing threats and integration with zero-trust architectures, are discussed. The article concludes by emphasizing the ongoing importance of VPN technology in protecting online communications amid evolving cyber threats.

1. Introduction: The Evolution of VPN Security

Virtual Private Networks (VPNs) have become essential tools in our digital landscape, offering privacy and security for online communications. As cyber threats have evolved, so too have VPN technologies, continually adapting to new challenges [2].

This article traces the journey of VPN security from early protocols to cutting-edge solutions, examining how each iteration has addressed previous shortcomings and introduced new security paradigms. By understanding this evolution, we gain insight into the current state of VPN technology and its future directions.

2. Early VPN Protocols

2.1 PPTP (Point-to-Point Tunneling Protocol)

PPTP, developed in the late 1990s, was one of the earliest VPN protocols. It gained popularity due to its native integration with Windows operating systems.

Key features:

- Uses MPPE (Microsoft Point-to-Point Encryption) with RC4 cipher
- Employs MS-CHAP for authentication

Despite its initial popularity, PPTP had significant security weaknesses:

- Vulnerable authentication mechanism
- Weak encryption
- Lack of Perfect Forward Secrecy

These vulnerabilities led to PPTP being largely deprecated for sensitive communications by the early 2000s.

2.2 L2TP/IPsec

L2TP/IPsec was developed to address PPTP's security shortcomings while maintaining ease of use.

Key improvements:

- Stronger encryption through IPsec (typically AES)
- Enhanced authentication using pre-shared keys or certificates
- Data integrity checking

While more secure than PPTP, L2TP/IPsec had its own challenges:

- Potential firewall issues due to its use of multiple protocols and ports
- Slightly slower performance due to double encapsulation

3. Advancement of VPN Technologies

The next generation of VPN protocols brought significant improvements in security, flexibility, and performance.

OpenVPN

Released in 2001, OpenVPN marked a shift towards open-source VPN solutions.

Key features:

- Flexible cryptographic options (e.g., AES encryption, SHA hash functions)
- Perfect Forward Secrecy
- Strong, certificate-based authentication

IKEv2 (Internet Key Exchange version 2)

Standardized in 2005, IKEv2 introduced several advancements:

Key features:

- Improved mobility and connection stability (MOBIKE protocol)
- Strong cryptography with quantum-resistant algorithm support
- Built-in protection against denial-of-service attacks

Both OpenVPN and IKEv2 represented significant steps forward, offering improved security and adaptability to modern network environments. However, they also introduced complexity in configuration and deployment, setting the stage for further innovations in VPN technology.

4. Modern Solutions: WireGuard

WireGuard, released in 2018, represents a paradigm shift in VPN technology. Designed by Jason A. Donenfeld, it aims to be simpler, faster, and more secure than its predecessors.

Key Features:

1. Minimalist Design: With only about 4,000 lines of code, WireGuard has a significantly smaller attack surface compared to OpenVPN or IPsec[1].

2. State-of-the-art Cryptography:
   - ChaCha20 for encryption
   - Poly1305 for authentication
   - Curve25519 for key agreement
   - BLAKE2s for hashing

3. Performance: Offers significantly faster speeds and lower latency than OpenVPN and IPsec[1].

4. Simplified Key Management: Uses Crypto Key Routing, combining cryptographic identities with network addresses[1].

5.Cross-platform Support: Available on Linux, Windows, macOS, Android, and iOS.

While WireGuard offers numerous advantages, it does have some limitations:

- Less flexibility in cryptographic choices
- Still developing support for dynamic IP allocation in large-scale deployments

5. Comparative Analysis of Protocol Security

Protocol	Encryption	Key Exchange	Authentication	Perfect Forward Secrecy
PPTP	MPPE (RC4)	RSA	MS-CHAPv2	No
L2TP/IPsec	AES	Diffie-Hellman	PSK, certificates	Optional
OpenVPN	AES, others	RSA, DH	Certificates, PSK	Yes
IKEv2	AES, 3DES	Diffie-Hellman	Certificates, EAP	Yes
WireGuard	ChaCha20	Curve25519	Public key	Yes

Trends:

1. Stronger Encryption: Evolution from vulnerable RC4 to robust AES and ChaCha20[2].
2. Improved Authentication: Move from password-based to certificate and public key methods[3].

3. Perfect Forward Secrecy: Becoming a standard feature in modern protocols[4].
4. Simplification: Trend towards simpler, "secure-by-default" configurations[1].

6. The Future of VPN Security

As VPN technology continues to evolve, several key trends and challenges are shaping its future:
1. Performance Demands:
   - Trend: Development of low-latency, high-throughput VPN solutions.
   - Challenge: Balancing performance with robust security.
2. Cloud Integration:
   - Trend: VPNs designed for multi-cloud and edge computing environments.
   - Challenge: Ensuring consistent security across diverse infrastructures.
3. Zero Trust Model:
   - Trend: Integration of VPN tech with Zero Trust Network Access principles.
   - Challenge: Adapting VPN concepts to fit zero trust frameworks.
4. Quantum Computing Threat:
   - Challenge: Current encryption methods may become vulnerable [7].
   - Future Direction: Development of quantum-resistant cryptographic algorithms [8].
5. AI and Machine Learning:
   - Threat: More sophisticated, AI-powered cyber-attacks.
   - Opportunity: AI-driven VPN systems for improved threat detection and response.

Emerging Developments:
- Post-quantum cryptography integration
- Enhanced protocol obfuscation to bypass VPN blocks
- Decentralized VPN architectures using blockchain technology
- Standardization efforts for newer protocols like WireGuard

Conclusion

The evolution of VPN security from PPTP to WireGuard reflects not just technological advancements, but also changing threat landscapes and user needs. Key takeaways include:
1. Continuous Improvement: Each new protocol has addressed vulnerabilities of its predecessors.
2. Balance of Security and Usability: Modern protocols like WireGuard aim to provide strong security without sacrificing performance or ease of use.
3. Shift in Design Philosophy: Moving from complex, configurable protocols to streamlined, "secure-by-default" approaches.
4. Cryptographic Advancements: VPN protocols have consistently incorporated the latest in cryptographic research.
5. Adaptability: VPN technology has continually evolved to meet new challenges, from mobile computing to emerging quantum threats.

Looking ahead, VPN technology will continue to evolve, driven by the need for quantum-resistant cryptography, integration with zero-trust architectures, and adaptation to new computing paradigms like edge computing and IoT. The core purpose of VPNs remains unchanged: to provide secure, private communications over untrusted networks.
As our digital lives become increasingly interconnected, the role of VPNs in protecting our online activities will only grow in importance. The ongoing evolution of VPN security underscores the critical need for continued innovation in the face of ever-changing cyber threats.

REFERENCES

1. Donenfeld, J. A. WireGuard: Next Generation Kernel Network Tunnel / J. A. Donenfeld // Proceedings of the 2017 Network and Distributed System Security Symposium (NDSS '17). – 2017.

2. Stallings, W. Cryptography and Network Security: Principles and Practice / W. Stallings. – 7th ed. – Pearson, 2017. – 768 p.
3. Ferguson, N. A Cryptographic Evaluation of IPsec / N. Ferguson, B. Schneier. – Counterpane Internet Security, Inc., 2003.
4. Feilner, M. OpenVPN: Building and Integrating Virtual Private Networks / M. Feilner. – Packt Publishing, 2006. – 272 p.
5. Kaufman, C. Internet Key Exchange Protocol Version 2 (IKEv2) / C. Kaufman, P. Hoffman, Y. Nir, P. Eronen, T. Kivinen // RFC 7296, IETF. – 2014.
6. Arends, R. DNS Security Introduction and Requirements / R. Arends, R. Austein, M. Larson, D. Massey, S. Rose // RFC 4033, IETF. – 2005.
7. Chen, L. Report on post-quantum cryptography / L. Chen, S. Jordan, Y. K. Liu, D. Moody, R. Peralta, R. A. Perlner, D. Smith-Tone // NISTIR 8105, National Institute of Standards and Technology. – 2016.
8. Mosca, M. Cybersecurity in an era with quantum computers: Will we be ready? / M. Mosca // IEEE Security & Privacy. – 2018. – Vol. 16, N. 5. – P. 38-41.
9. Zhou H., Zhao J. P., Loo C. E., Ellis B. G., Cen K. F. Numerical Modeling of the Iron Ore Sintering Process // ISIJ International. – 2015. – Vol. 52, №9. – P.1550– 1558

Tursunov Didar Almasovich – Master's student. Astana IT University; 010000, Astana, Kazakhstan; e-mail: didar_tursunov2@mail.ru

ОБУЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ШКОЛЕ

Ә.Т. Азаматова
Международный университет Астана, Казахстан
e-mail: asely97.05@mail.ru

Статья посвящена использованию генеративного искусственного интеллекта (ГИИ) в школьном обучении компьютерной графике. Автор, выполнив анализ инструментов ГИИ уделяет внимание онлайн ресурсу генеративной графики Meshy, который повышает эффективность обучения и изменяет традиционный подход к обучению. ГИИ Meshy позволяет создавать, адаптировать визуальные интерактивные задания под индивидуальные потребности учащихся и повысить их интерес к обучению.

Введение. Важным условием для формирования человека является его способность воспринимать, обрабатывать и использовать графическую информацию. В настоящее время процесс информатизации образования стремительно развивается, что позволяет использовать в обучении целый ряд новых информационных технологий. Изучение компьютерной графики в школе - одна из важнейших областей применения персональных компьютеров и одно из ведущих направлений в развитии новых информационных технологий [1].

Способность компьютерной графики быть многозначной, необычной и символичной, скрывать некие смыслы за иносказательной формой имеет большую дидактическую ценность. Применение графики в учебных компьютерных системах не только позволяет увеличить скорость передачи информации и повысить уровень ее понимания, но и способствует развитию образного мышления. Большое образовательное и психологическое значение имеет и тот факт, что цвет графических изображений воздействует на мысли и чувства, стимулируя воображение. Глубина, тональность и насыщенность красок способны оказать глубокое воздействие на психику человека. Графика, как и другие формы искусства, основанного на принципах гармонии, обладает способностью активизировать или расслаблять человека, снимать стрессы и стимулировать разум к сознательной творческой деятельности [2].

Методы. Существует несколько мнении использования технологий искусственного интеллекта, есть положительные и отрицательные мнений о необходимости ИИ в школе. Исследователями отмечается, что технологии генеративного ИИ могут иметь широкий диапазон использования в образовании, в частности: для генерирования учебного контента, который повышает степень вовлеченности учащихся в образовательный процесс, а, следовательно, обеспечивает больший эффект от обучения [3].

Генеративный ИИ определяют, как технологию, которая использует модели глубокого обучения для создания оригинальных информационных материалов (текст, изображения, видео и пр.) в ответ на запрос человека [4] и рассматривают как новый, значительно более совершенный интеллектуальный цифровой инструмент для работы с информацией, который может оказать значительное влияние на развитие общества.

Под влиянием генеративного ИИ будет осуществляться постепенная трансформация парадигмы образования от компетентностного подхода как основного, который ориентирует образовательную систему на подготовку грамотных потребителей, к творчески ориентированному подходу как основному, в основе которого лежит формирование *творческой/креативной личности*, способной к созданию нового в различных профессиональных сферах. При этом скорость трансформации будет определяться как технологическими факторами, так и позицией регулятора [3].

В последние годы особое внимание уделяется генеративной графике, которая использует алгоритмы и искусственный интеллект для создания уникальных изображений и анимаций. Этот подход открывает новые горизонты в креативности, позволяя художникам и дизайнерам генерировать контент, который ранее был невозможен.

Генеративная графика значительно увеличила скорость работы для достижения конечного результата при создании анимации, различных видов графики и дизайна, существенно минимизируя при этом возможность появления ошибок. Благодаря новым постоянно появляющимся и обновляемым ресурсам по созданию генеративной графики и взаимодействию с искусственным интеллектом у пользователя появилась гибкая возможность регулировать геометрические пропорции создаваемых объектов, их контраст и цветовую насыщенность, использовать высокую вариативность параметров. Генеративная графика нашла применение в графическом, предметном и средовом дизайне, при создании статических и динамических объектов, став интересным и высокоэффективным инструментом в руках художника и дизайнера [5].

Эволюция генеративной графики, основанная на технических инновациях, открыла новые горизонты для графических экспериментов. Она позволила преодолеть ограничения традиционных материалов, таких как печатная форма и статичность, внедрив элементы движения и интерактивности в дизайн. Это стало основой для смелых творческих решений в современном искусстве.

Генеративная графика, создаваемая по заданным параметрам, – один из инструментов искусственного интеллекта, применяемая в дизайне и искусстве. Алгоритмы искусственного интеллекта могут комбинировать многочисленные варианты такой графики и влиять на конечные результаты. Искусственный интеллект строит заданную модель сам на основе заданной пользователем информации, имитируя работу человеческого мозга: он анализирует, выявляет закономерности, обобщает, прогнозирует и исследует большие объемы данных [5].

Существует множество программ с генеративным искусственным интеллектом, которые позволяют создавать уникальные графические работы. Эти редакторы отличаются простотой использования и доступностью, что делает их идеальными для обучения в основной школе. Ниже представлены несколько бесплатных инструментов, которые могут быть полезны ученикам:

1. DALL-E - генеративная модель от OpenAI, позволяющая создавать изображения на основе текстовых описаний. Ученики могут экспериментировать с различными идеями и стилями, получая уникальные графические работы.
2. Meshcapade - интуитивно понятный инструмент для 3D-моделирования и анимации. Он позволяет пользователям легко создавать и редактировать 3D-объекты, что может быть полезно для изучения трехмерной графики и дизайна.
3. Spline AI - онлайн-редактор для создания интерактивных 3D-дизайнов. Он предоставляет пользователям возможность работать с 3D-моделями и анимациями, делая процесс создания визуальных проектов более доступным и увлекательным.
4. Luma AI - инструмент для генерации и редактирования 3D-графики, который позволяет пользователям создавать объемные объекты и сцены с помощью простого интерфейса. Это отличный способ для учащихся развивать навыки 3D-дизайна.
5. Avaturn — платформа для создания персонализированных 3D-аватаров, которая позволяет пользователям легко генерировать и настраивать свои цифровые образы. Ученики могут использовать Avaturn для разработки своих персонажей и анимаций.
6. Meshy - это набор инструментов для 3D-генерации искусственного интеллекта, предназначенный для оптимизации создания 3D-ресурсов из текста или изображений, что значительно ускоряет рабочий процесс 3D для дизайнеров, художников и разработчиков.

Исследование. Практический опыт работы с различными редакторами компьютерной графики подсказывает автору, что программа Meshy может стать незаменимым инструментом для обучения 3D-моделированию. Ее функциональность и доступность делают ее идеальным решением для школьников, желающих погрузиться в мир цифрового дизайна. Рассмотрим подробный обзор функциональности программы Meshy:

- Интуитивно понятный интерфейс
- Моделирование в реальном времени
- Широкий набор инструментов
- Текстурирование и работа с материалами
- Анимация объектов.
- Экспорт в различные форматы
- Общение с сообществом и обучающие ресурсы
- Кроссплатформенность

Используя последние достижения в области искусственного интеллекта и обучение с помощью машины, Meshy позволяет пользователям создавать высококачественные текстуры и 3D-модели за считанные минуты. Он предлагает такие функции, как «Текст в текстуру», который генерирует текстуры на основе описательных текстовых подсказок, и «Изображение в текстуру», который позволяет создавать текстуры из изображений концептуального искусства. Кроме того, Meshy позволяет создавать полностью текстурированные 3D-модели из текстовых подсказок всего за две минуты и из одного изображения менее чем за 15 минут. Поддерживает различные форматы 3D-файлов как для загрузки, так и для скачивания моделей, включая .fbx, .obj, .stl, .gltf, .glb, .usdz и .blend. Пользователи сохраняют право собственности на созданные ими активы, при этом коммерческое использование разрешено на определенных условиях. Безопасность данных является приоритетом: данные надежно хранятся в Amazon Web Services и не используются для обучения без согласия пользователя.

Созданные в Meshy объекты можно легко интегрировать в программы для 3D моделирования, такие как SketchUp. Это открывает новые возможности для школьников, позволяя им использовать полученные модели в своих учебных проектах. Например, они могут создать виртуальный ландшафт или архитектурную композицию, добавляя элементы, созданные в Meshy.

В Казахстанских школах компьютерная графика по стандарту ГОСО, изучается на уроках информатики в 6 классе, школьники знакомятся с основами визуализации и моделирования. Рассмотрим процесс создания 3D-объекта с применением генеративного искусственного интеллекта Meshy.

1. Для начала работы в Meshy достаточно открыть программу и ввести текстовое описание желаемого объекта. Например, мы можем написать: «Большое дерево с красными большими яблоками». Этот простой шаг запускает мощный алгоритм, который преобразует текст в визуальный образ.
2. Выбор стиля и топологии - Meshy предлагает множество стилей для визуализации. Вы можете выбрать реалистичный, скульптурный или PBR (Physically Based Rendering) стиль, в зависимости от ваших предпочтений и целей проекта. Также доступна возможность выбора топологической схемы, что позволяет адаптировать модель под конкретные требования.
3. Генерация и выбор модели - После настройки всех параметров достаточно нажать кнопку «Сгенерировать». В результате программа создаст четыре различных модели, среди которых вы сможете выбрать ту, которая наиболее соответствует вашему видению. Более того, можете дополнительно настроить текстуры, придавая объекту уникальный вид.

4. Анимация и освещение - Одним из ключевых преимуществ Meshy является возможность анимации созданных объектов. Вы можете добавить различные движения, а также настроить освещение, чтобы подчеркнуть детали модели и создать атмосферу. Это открывает новые горизонты для творчества и позволяет сделать ваши работы более динамичными и привлекательными. На рисунке 1. представлен наглядный результат промта «Большое дерево с красными большими яблоками».

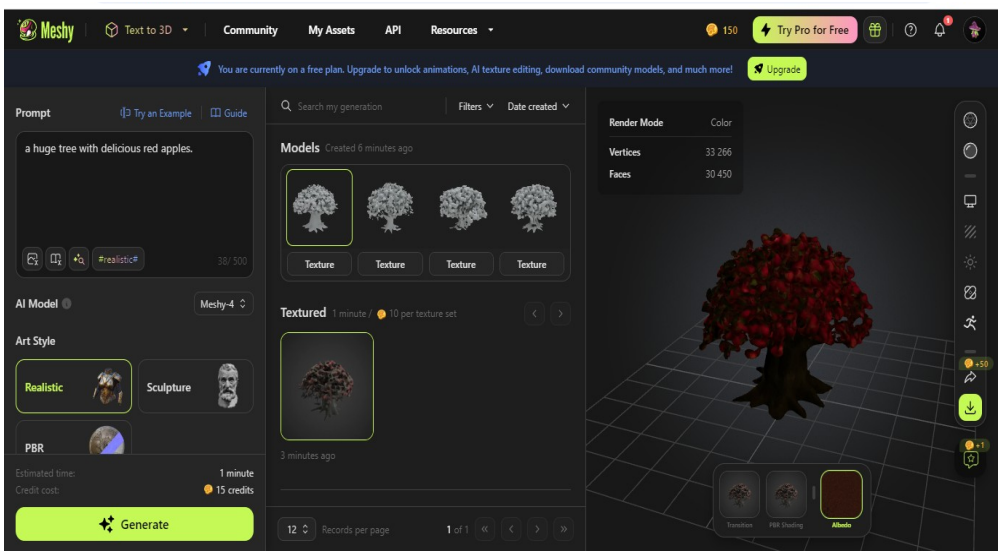


Рис. 1 Результат промта в Meshy

В сравнительном анализе урока по теме «Создание моделей объектов» в 3D-редакторе SketchUp и программе Meshy можно заметить, что использование генеративной графики в Meshy изменяет традиционный подход к обучению. В частности, на первых уроках в SketchUp обучающиеся знакомятся с инструментами для построения фигур, таких как «прямоугольник» и «окружность», а в Meshy на первых уроках школьники используют текстовые промты и выполняют более сложное задание. Тем не менее, остальные аспекты работы в редакторе Meshy остаются схожими с SketchUp. ГИИ Meshy позволяет создавать, адаптировать визуальные интерактивные задания под индивидуальные потребности учащихся и повысить их интерес к обучению.

Применение программы Meshy обогащает учебный процесс, способствует развитию критического мышления, креативности и навыков командной работы. Учащиеся учатся адаптировать свои идеи и представлять их в визуальной форме, что является важным навыком в современном мире. Эффективная визуализация мыслей и концепций открывает новые горизонты для творческого самовыражения и помогает в решении сложных задач.

Выводы. Интеграция технологий в учебный процесс не только повышает уровень усвоения материала, но и развивает креативные способности учащихся, стимулируя их воображение и интерес к различным предметам. Уроки становятся более интерактивными и увлекательными, что способствует более глубокому пониманию темы и вовлечению студентов в процесс обучения.

Эта инновация позволяет сохранить актуальность учебного плана и внедрять новые подходы в обучение компьютерной графике, открывая учащимся новые возможности для творчества, в формировании будущего поколения.

Список литературы

1. *Гербеков Х.А., Халкечева И.Т.* Изучение компьютерной графики в системе общего образования // Вестник РУДН. Серия: Информатизация образования. 2017. №4.

URL: https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-kompyuternoy-grafiki-v-sisteme-obschego-obrazovaniya (дата обращения: 10.10.2024).

2. *Сакулина Ю. В., Рожина И. В*. Компьютерная графика как средство формирования профессиональных компетенций // Педагогическое образование в России. 2012. №6. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternaya-grafika-kak-sredstvo-formirovaniya-professionalnyh-kompetentsiy (дата обращения: 10.10.2024).

3. *Константинова Л. В., Ворожихин В. В., Петров А. М., Титова Е. С., Штыхно Д. А.* ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ОБРАЗОВАНИИ: ДИСКУССИИ И ПРОГНОЗЫ // Открытое образование. 2023. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/generativnyy-iskusstvennyy-intellekt-v-obrazovanii-diskussii-i-prognozy (дата обращения: 10.10.2024).

4. *Lim W.M., Gunasekara A., Pallant J.L., Pallant J.I., Pechenkina E.* Generative AI and the future of education: Ragnarök or reformation? A paradoxical perspective from management educators // The International Journal of Management Education. 2023. № 21(2). С. 100790. DOI: 10.1016/j.ijme.2023.100790.

5. *Петрухина О.В.* ГЕНЕРАТИВНАЯ ГРАФИКА: ВЧЕРА, СЕГОДНЯ, ЗАВТРА // НАУ. 2023. №88-2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/generativnaya-grafika-vchera-segodnya-zavtra (дата обращения: 10.10.2024).

Азаматова Әсел Тлеуберліқызы – магистрант 2 курса Международного университета Астана;
010000, Астана; e-mail: asely97.05@mail.ru

ЖҮРЕК АУРУЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ТЕРЕҢ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

М.Б. Байкувеков[1], Д.Р. Султан[1], Ғ.Б. Еспаев[2], Ә.Р. Шаханов[3]
[1] әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
[2.3] Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Жүрек-қан тамырлары аурулары (ЖҚА) әлемнің көптеген елдерінде өлім мен мүгедектіктің негізгі себептерінің бірі болып табылады. Жоғары аурушаңдықпен күресу шеңберінде жаһандық денсаулық парадигмасында ауруларды емдеуден гөрі белсенді профилактикаға айқын ауысу, сондай-ақ амбулаториялық емдеу, үйде күтім жасау және пациенттердің өз денсаулығы туралы өзіне-өзі көмек көрсету пайдасына стационарлық емдеуді қысқарту ниеті байқалады.*

Кілттік сөздер: *ақылды стетоскоп, Машиналық оқыту, жіктеу, ФКГ, жүрек дыбыстары, жүрек соғысы.*

Кіріспе. Қазіргі заманғы жаһандық клиникалық нұсқаулықтардың көпшілігінде пациент көмекке жүгінген дәрігердің іс-әрекеттерінің дәйектілігі, соның ішінде денсаулық жағдайының объективті деректерін бағалау, қауіп факторларын анықтау және олардың негізінде белгілі бір пациенттің жүрек-қан тамырлары қаупін анықтау, содан кейін осы тәуекелді азайту үшін шаралар қабылдау міндеттемесі нақты көрсетілген. Алайда, қазіргі уақытта көптеген елдерде тәуекел факторларын жаппай сәйкестендіру және ЖҚА даму қаупін жалпы бағалау жоқ.

Жүрек ауруларының көпшілігі бір-бірімен байланысты және жүрек шығаратын дыбыстармен шағылысады. Жүрек дыбысын тыңдау ретінде анықталған жүрек аускультациясы жүрек дисфункциясын ерте диагностикалаудың өте маңызды әдісі болды. Бұл жағдайда фонокардиограмма (PCG) жүрек денсаулығы туралы маңызды ақпаратты қамтитын жүрек тондары мен шуларды жазады. PCG сигналын талдау жүректің қалыптан тыс күйін анықтауы мүмкін. Электрондық стетоскоптың пайда болуы компьютерлік аускультацияның жаңа саласына жол ашты. Бұл мақалада электронды стетоскоп технологиясы және компьютерлік аускультация негізінде жүрекенийағының бұзылуын диагностикалау әдісі егжей-тегжейлі қарастырылады.

1. Тапсырма қою

Ақылды құрылғылар мен заттар интернетінің пайда болуымен деректер көлемі мен олардың түрі құрылғылардың арқасында өсті олар жиналады [1-5]. Қол жетімді және жеткілікті дәл шағын өлшемдегі сенсорлар білікті дәрігерді қажет ететін мұндай тапсырманы автоматтандырудың басты артықшылығы болып табылады.

Әсіресе білікті жұмысшылар жоқ шалғай аудандар үшін пайдалы. Екіншіден, бағалау және тіркеу үшін инфрақұрылымды дамыту арзанырақ, сондықтан ол көп болады ену мен қабылдаудың жоғары деңгейі. Детекторларды қосу Ақылды диапазондардағы ЭКГ-бұл үлкен жетістік, бірақ олар жоқ өте дәл, сондықтан ауытқуларды анықтау да дәл емес [6]. Уақыт өте келе бұл құрылғылар дәлірек болады мұндай бағдарламалық жасақтаманы әзірлеуді қажет етеді.

Бұл тапсырманы орындауға түрткі өсу болып табылады жүрек-қан тамырлары ауруларына байланысты адам құрбандарының саны дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДҰ) мақаласына сәйкес жүрек-қан тамырлары ауруларынан 17,9 миллион адам қайтыс болды деп есептеледі адам, бұл популяция барлық өлімнің 31 пайызын құрайды әлемде [7]. Дәрігерлер мен пациенттердің арақатынасы 1:921-ден төмен

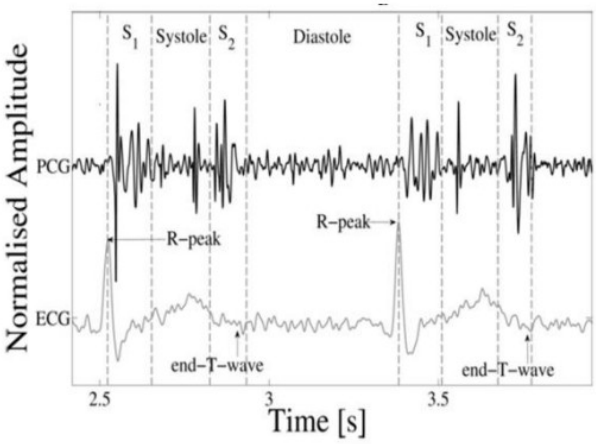
Үндістан сияқты кедей елдерде бұл үлкен Сан, көптеген адамдар емделусіз қалады, ал ауруханалардағы сызықтар өте үлкен. Бұл мәселе автоматты түрде анықтауды және дәл анықтауды қажет етеді емдеу процедуралары, сондай-ақ қажетті сақтық шаралары. ФКГ инвазивті емес, арзан және дәл әдіс болғандықтан жүректің мониторингі, сондықтан ол басқалардан гөрі жақсы сигнал. Бұл мақалада біз диагностикаға арналған ақылды стетоскопты қарастырамыз Машиналық оқыту әдістеріне негізделген жүрек соғу жазбаларын қолданатын жүрек патологиялары.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Жүрек - қантамыр жүйесінің функционалдық жағдайы қан айналымы жүйесіндегі биофизикалық процестерді (жүректің электрлік және механикалық белсенділігі) объективті бағалауға мүмкіндік беретін аспаптық әдістер кешенін қолдану арқылы зерттеледі, жүрекішілік және жалпы гемодинамика) [8]. Арасында ерекше орын бұл әдістерді фонокардиография (FKG) алады, бұл мүмкіндік береді жүрек-қантамыр жүйесінің жай-күйін бақылау, басқа аурулар арасында жетекші орын алады [9].

Биомедициналық сигналдарды талдау көбінесе қиын міндет болып табылады биомедициналық ғылымдар бойынша дәрігер немесе маман, өйткені сигналдағы клиникалық маңызды ақпарат әдетте шу арқылы жасырылады және сигналдар. Сонымен қатар, сигнал параметрлері көбінесе мүмкін емес визуалды және дыбыстық жүйелер тікелей қабылдауы керек адамның бақылаушысы, өйткені жүрек энергиясының көп бөлігі тондар көптеген адамдардың дыбысты қабылдау шегіне немесе одан да төмен бағытталған.Сондықтан фонокардиосигналды бағалаудың сенімділігі мен дәйектілігі (FKS) [10], сондай-ақ түсіну байқалған құбылыстар субъективті факторлар болып табылады маман дәрігердің біліктілігіне, тәжірибесіне және диагностикалық мүмкіндіктеріне байланысты олардың интерпретациясының көрінісі.

Бұл факторлар тек жетілдірілген жабдықтың қажеттілігін ғана емес, сонымен қатар қазіргі заманғы өңдеу және талдау алгоритмдерін қолдана отырып, кедергілер жағдайында сигналдарды объективті талдау әдістерін жасау қажеттілігін анықтайды қазіргі заманғы радиотехникалық құралдар негізінде іске асырылған фонокардиосигналдар. Сондықтан сенімді ерте диагностиканың әдістері мен құралдарын ғылыми-практикалық негіздеу, әзірлеу және дамыту қазіргі радиотехникалық әдістерге негізделген жүрек функциялары функционалдық жай-күй туралы ақпараттың көлемі мен сапасын арттыруға ықпал ететін биомедициналық сигналдарды өңдеу және талдау және соның салдарынан неғұрлым тиімді аппараттық және бағдарламалық жасақтама-бұл өзекті мәселе. Мұндай әдістерге қойылатын негізгі талаптар-енгізудің қарапайымдылығы, профилактикалық диагностика нәтижелерінің ақпараттылығы мен сенімділігі жүрек-қантамыр жүйесі [11-12]. Сигналдарды талдау коэффициентті есептеу арқылы жүзеге асырылады толқын амплитудасы мен ұзақтығының корреляциясы, анықтамалары және толқынның фазалық сипаттамаларын бағалау. Толығырақ талдау бірнеше функцияларды қолдануды талап етеді. Морфологиялық талдау үшін ФКГ формалары келесі қадамдарды орындау қажет: анықтау фкг тондары (S1 және S2) – сегменттеу; олардың шекараларын анықтау және тондардың пішінін сипаттайтын параметрлерді есептеу; пішінді талдау (1-сурет).



1-сурет. ФКГ сигналы. S1 фазалық күйлерін көрсету, систолалық фаза, S2 фазасы және диастолалық фаза.

3. Сандық есептеулер

Байқалған ФКГ s(n) сигналы келесідей ұсынылуы мүмкін: мұндағы F (n) жүрек дыбысының негізгі компоненттерін білдіреді, біріншісі (S1) және екінші (S2) жүрек жазбалары және O (n) басқа сигналдардың қоспасы, соның ішінде жүрек дыбысының басқа компоненттері (c (n), мысалы, күңкілдеу) және Шу компоненттері N(n).

Тәжірибе үшін ЭКГ өлшемдері, фонокардиограмма және тыныс алу бар PhysioNet дерекқоры пайдаланылды [1][2][3]. Үшін оқыту Машиналық оқыту моделі, біз 400 жазбаны қолдандық ФКГ, олар екі түрге бөлінді. Барлық жазбалардың жартысы жүрек тондары ауытқуы бар адамдарға тиесілі, ал екіншісі оның бір бөлігі сау адамдарға тиесілі болды. Деректер жиынтығы екіге бөлінді екі бөлік 80% - дан 20% - ға дейін. Барлық деректердің 80%-ы пайдаланылды оқыту, ал қалған 20% Машиналық оқыту моделін сынау үшін пайдаланылды.

4. Қорытынды

Мақалада патологиялық анықтау моделі келтірілген жүрек кедергісін анықтауға арналған ФКГ сынықтары және спортшылардың модельді қолдануы үшін электронды стетоскоп. Аудио сигналды талдау негізінен осындай мәселелермен байланысты, сигналдың әлсіздігі, тар өткізу қабілеттілігі, шудың әртүрлі түрлерімен ластану, кездейсоқтық, біріктірілген сигналдарды бір сигналға бөлу қажеттілігі және т. б. жүрек дыбыстары күрделі сигналдар да осы ережеге бағынады. Жүрек клапанының дыбыстары, қарыншалар мен артерияларды толтыру және босату, сондай-ақ осы дыбыстар мен тар жиілік диапазоны арасындағы кедергі талдау негізінде жүрекке қатысты мәселелерді анықтауды қиындатады дыбыс. Екінші жағынан, ЭКГ сияқты сенімді сигналдардың болуы, сарапшыларды жүрек диагностикасы үшін оларға сенуге итермеледі аурулар. ФКГ сигналы пайдаланылуы мүмкін арзан және жылдам анықтау үшін тәуелсіз әдіс ретінде жүректің тоқтап қалуының көптеген бұзылыстары мен функциялары. Дегенмен соңғы жылдар бірнеше тонды анықтау алгоритмдері жасалды жүректер, олардың әрқайсысында дыбыстық сигналдардың табиғатына байланысты кейбір кедергілер бар.

Әдебиеттер тізімі

1. Dorri, A., Kanhere, S.S., Jurdak, R., & Gauravaram, P. (2017, March). Blockchain for IoT security and privacy: The case study of a smart home. In 2017 IEEE international conference on pervasive computing and communications workshops (PerCom workshops) (pp. 618-623). IEEE.

2. Neto, A.R., Soares, B., Barbalho, F., Santos, L., Batista, T., Delicato, F.C., & Pires, P.F. (2018, July). Classifying Smart IoT Devices for Running Machine Learning Algorithms. In 45º Seminário Integrado de Software e Hardware 2018 (SEMISH 2018) (Vol. 45, No. 1/2018). SBC.
1. 3.Shyam, G.K., Manvi, S.S., & Bharti, P. (2017, February). Smart waste management using Internet-of-Things (IoT). In 2017 2nd international conference on computing and communications technologies (ICCCT) (pp. 199- 203). IEEE.
3. Saravanan, M., Das, A., & Iyer, V. (2017, June). Smart water grid management using LPWAN IoT technology. In 2017 Global Internet of Things Summit (GIoTS) (pp. 1-6). IEEE.
4. Ejaz, W., Naeem, M., Shahid, A., Anpalagan, A., & Jo, M. (2017). Efficient energy management for the internet of things in smart cities. IEEE Communications Magazine, 55(1), 84-91.
5. Mahdy, L.N., Ezzat, K.A., & Tan, Q. (2018, November). Smart ECG Holter Monitoring System Using Smartphone. In 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS) (pp. 80-84). IEEE.
6. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases- (cvds)
7. Sundaram, D.S. B., Shivaram, S., Balasubramani, R., Muthyala, A., & Arunachalam, S.P. (2019, May). Discriminating Normal Phonocardiogram From Artifact Using a Multiscale Entropy Technique. In 2019 IEEE International Conference on Electro Information Technology (EIT) (pp. 542- 545). IEEE.
8. Maitra, S., & Dutta, D. (2019, March). A Systemic Review on the Technological Development in the Field of Phonocardiogram. In 2019 Devices for Integrated Circuit (DevIC) (pp. 161-166). IEEE.
9. Dia, N., Fontecave-Jallon, J., Gumery, P.Y., & Rivet, B. (2019, May). Heart Rate Estimation from Phonocardiogram Signals Using Non-negative Matrix Factorization. In ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 1293-1297). IEEE.
10. Banerjee, R., Biswas, S., Banerjee, S., Choudhury, A.D., Chattopadhyay, T., Pal, A., ... & Mandana, K.M. (2016, September). Time-frequency analysis of phonocardiogram for classifying heart disease. In 2016 Computing in Cardiology Conference (CinC) (pp. 573-576). IEEE.
11. Durand, L.G., & Pibarot, P. (2017). Most Recent Advancements in Digital Signal Processing of the Phonocardiogram. Critical Reviews™ in Biomedical Engineering, 45(1-6).
12. Clifford, G.D., Liu, C., Moody, B., Millet, J., Schmidt, S., Li, Q., ... & Mark, R.G. (2017). Recent advances in heart sound analysis. Physiological measurement, 38(8), E10-E25.

Султан Д.Р. – магистр, старший преподаватель Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
sultand@gmail.com

Байкувеков М.Б. – магистр, старший преподаватель Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
baikuvekov@gmail.com

Еспаев Ғ.Б. – магистр, старший преподаватель Satbayev University, Алматы, Казахстан;
espayev@gmail.com

Шаханов Ә.Р. – магистр, старший преподаватель Satbayev University, Алматы, Казахстан; shahanov@gmail.com

ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨҢДЕУ НЕГІЗІНДЕГІ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ СУ РЕСУРСТАРЫН ТИІМДІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ

Б.Ш. Ералиева[1], Г.С. Боранкулова[1], А.Т. Тунгатарова[1], А.Н. Мурзахметов[1]
[1]М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Казахстан

Аннотация. *Бұл мақаланың мақсаты - үлкен деректерді талдау және географиялық ақпараттық жүйелерді пайдалана отырып, ауыл шаруашылығында су ресурстарын тиімді басқару жүйесін зерттеу. Экономикалық және халық санының өсуі өнеркәсіптегі және елді мекендердегі суды тұтыну деңгейінен көрінеді, бұл ауыл шаруашылығы үшін судың қолжетімділігін айтарлықтай төмендетеді. Аграрлық секторда су ресурстарын тиімді басқару мониторингі әдісі мен жүйесін әзірлеудегі зерттеулер ғылыми ұйымдар мен олардың ұжымдарының ғылыми-техникалық әлеуетіне және бәсекеге қабілеттілігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Зерттеу нәтижелері су ресурстарын басқаруда жаңа идеялар мен инновацияларды қамтамасыз ете алады. Зерттеудің оң нәтижелері мемлекеттік және жеке көздерден қосымша қаржыландыруды тартуға негіз бола алады.*

Кілттік сөздер: *үлкен деректер, ақпараттық жүйе, тиімді басқару, су ресурстары.*

Кіріспе

Су ресурстары планетаның экожүйесінің толыққанды жұмыс істеуі үшін қажет. Қазақстанның су ресурстары табиғи және трансшекаралық өзендерден қалыптасады. Қазақстанға келетін судың 40%-дан астамы көршілес елдерден келетін трансшекаралық өзендерден келеді, ал бұл елдердегі экономикалық және әлеуметтік дамудың жеделдеуі су ағынының азаюына алып келеді. Дүниежүзілік банктің болжамы бойынша 2030 жылға қарай Қазақстандағы су ресурстарының көлемі жылына 90-нан 76 м³-ге дейін азаяды. Бұл елдегі су тапшылығы 8 жылдан кейін жылына шамамен 12-15 м³ болады дегенді білдіреді, яғни шамамен 15%. Сондықтан ауыл шаруашылығында суды тиімді басқарудың жаңа үлгілері мен мониторинг жүйелерін әзірлеу Қазақстандағы азық-түлік қауіпсіздігін, тұрақты дамуды және экологиялық тепе-теңдікті сақтауды қамтамасыз етудің маңызды аспектісі болып табылады.

1. Тапсырма қою

Зерттеу нәтижелері мыналарды қамтиды: су ресурстарын пайдалану мен аймақтар бойынша бөлудің ағымдағы деңгейін талдау; су көздерінің сарқылу деңгейін және тапшылық қаупін анықтау; су тапшылығын арттыратын факторларды анықтау; су тапшылығы салдарынан болуы мүмкін экологиялық зардаптарды талдау; су ресурстарына сұраныста болжау үлгілерін әзірлеу; әртүрлі аймақтардағы жағдайдың нашарлау немесе жақсару ықтималдығын бағалау; су ресурстарын тиімді басқарудың стратегиялары мен технологияларын әзірлеу; ауыл шаруашылығы секторларында суды үнемдеудің инновациялық әдістерін ұсыну; қабылданған шаралардың тиімділігін тұрақты бағалау және өзгермелі жағдайға сәйкес стратегияларды түзету үшін мониторинг жүйесін әзірлеу.

Заманауи ақпараттық технологиялар деректерді жинау, талдау және оңтайландырудың инновациялық әдістерін ұсына отырып, су ресурстарын тиімді басқаруда шешуші рөл атқарады. Заттар интернетін (IoT) пайдалану IoT құрылғыларының көмегімен су ресурстары туралы деректерді жинауды автоматтандыруға және суды бөлудің тиімді әдістерін анықтауға мүмкіндік береді. Big Data аналитиканы пайдалану деректер сумен жабдықтау және кәріз жүйесінің жұмысын оңтайландыруға және деректерді талдау

негізінде ресурстардағы өзгерістерді болжауға мүмкіндік береді. Географиялық ақпараттық жүйелер (ГАЖ) су ресурстарының жай-күйін визуализациялау және талдау үшін және кеңістіктік деректерді пайдалана отырып, экожүйелердегі өзгерістерді бақылау үшін цифрлық карталарды жасау үшін пайдаланылатын болады. Бұлтты платформаларды пайдалану әртүрлі институттардың, соның ішінде мемлекеттік органдардың, ғылыми институттардың және қоғамдық ұйымдардың ынтымақтастығы үшін нақты уақыт режимінде басқару мәселелерін шешу үшін деректердің қолжетімділігі қамтамасыз етілетін су ресурстары туралы деректерді сақтауға және өңдеуге мүмкіндік береді. Бұл технологияларды біріктіру суды тиімді басқару, деректердің дәлдігін арттыру, шығындарды азайту және су жүйелерін тұрақты пайдалануды қамтамасыз ету үшін цифрлық инфрақұрылымды құруға болады .

Зерттеу жұмысы үлкен деректер мен ГАЖ пайдалана отырып, ауыл шаруашылығы секторында суды тиімді басқарудың моделі мен мониторинг жүйесін әзірлеу болып табылады. Үлкен деректерді өңдеу негізінде Жамбыл облысының су ресурстарын модельдеу және болжау үшін географиялық ақпараттық жүйені құруға бағытталған, ол ауылшаруашылық өнеркәсібіндегі суды тұтыну деректерін жинақтайды, талдайды және визуализациялайды. Бұл су ресурстарын пайдалану процестерін оңтайландыруға, артық тұтынуды болдырмауға, агроөнеркәсіп кешеніндегі су ресурстарын басқаруды жақсартуға, осылайша ауыл шаруашылығы қызметінің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Үлкен деректерді пайдалану үрдістерді анықтауға, суды тұтынуды болжауға және ауыл шаруашылығында су ресурстарын тұрақты пайдалану бойынша негізделген шешімдер қабылдауға көмектеседі.

Үлкен деректерді өңдеу негізінде ауыл шаруашылығы секторында су ресурстарын тиімді басқаруда шешімдер қабылдауды қолдау үшін үлгі және ақпараттық-талдамалық мониторинг жүйесін әзірлеу, су және экология секторын ақпараттық қамтамасыз етуді жақсарту.

Қазақстан, Қырғызстан, Түркіменстан, Тәжікстан және Өзбекстан орналасқан Орталық Азия көптеген ғасырлар бойы су ресурстарының тапшылығын бастан кешірді. Тәуелсіздік алғаннан кейін маңызды мәселелердің бірі – трансшекаралық өзендердің су ресурстарын аймақ елдері арасында бөлу мәселесі ешқашан шешімін тапқан жоқ. Бұл мәселе жалпы суды пайдалану проблемасы сияқты өте күрделі және экономикалық, су-энергетикалық, экологиялық және саяси аспектілерді біріктіретінін атап өткен жөн [1,2].

Орталық Азияның проблемаларының бірі су ресурстарының шектен тыс біркелкі бөлінбеуі болып табылады. Облыс ең алдымен суармалы егіншілік өндірісіне әсер ететін мерзімдік құрғақшылыққа бейім аймақта орналасқан. Қазақстан мен Өзбекстан өнеркәсібі ең дамыған елдер болып табылады және мұнай, газ және басқа да ресурстардың үлкен қорларына ие. Бұл елдер аймақтағы мемлекеттер арасында ең көп халық санына ие. Төменгі ағысында орналасқандықтан, олар «жоғарыдағы» елдерге: Қырғызстан мен Тәжікстанға өте тәуелді, олар су ресурстарымен барынша қамтамасыз етілген және Әмудария мен Сырдарияның негізгі су ағындарын - Орталық Азияның негізгі су жолдарын іс жүзінде бақылайды [1,2]. Халық санының жоғары өсу қарқыны мен жұмыссыздықтың жоғары деңгейі жағдайында су мәселесі аймақты тұрақсыздандырудың маңызды факторына айналды. Оңтүстік өңірдегі су тапшылығы мәселесі ел экономикасына айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Жамбыл облысы тауар өндіру мен экспорттауда негізгі аймақтардың бірі болып табылады. Тәжірибе көрсеткендей, егер аймақта сумен қамтамасыз етуде күрделі проблемалар туындаса, бұл елдегі ауыл шаруашылығы өнімдерін, тоқыма және басқа да тауарларды өндіруге және экспорттауға әсер етуі мүмкін, бұл азық-түлік бағасының өсуіне және ауыл шаруашылығына әсер етуі мүмкін [3,4]. Нәтижесінде бұл тауарлардың бағасы көтерілуі мүмкін, бұл инфляция мен қазақстандық тұтынушылардың бюджетіне әсер етуі мүмкін. Су тапшылығы ел ішінде және одан тыс жерлерде миграцияны күшейтуі мүмкін.

Бұл аймақтағы геосаяси шиеленістердің, қақтығыстардың және тұрақсыздықтың күшеюіне алып келуі мүмкін, бұл өз кезегінде елдегі қауіпсіздік пен саяси жағдайға әсер етуі мүмкін. Осылайша, оңтүстік өңірдегі су тапшылығы проблемасы Қазақстанның экономикасы мен саясатындағы өзара іс-қимылдың әртүрлі арналары мен тетіктері арқылы ел үшін ауқымды салдарларға әкелуі мүмкін. Бұл Қазақстанның тұрақты дамуын қамтамасыз ету үшін су ресурстарын тиімді басқару бойынша зерттеулер мен талдаулардың маңыздылығын көрсетеді [5,6].

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Ақпараттық технологиялар су ресурстарын тиімді басқаруда шешуші рөл атқарады. IoT технологиялары , Big Data, географиялық ақпараттық жүйелер, су ресурстарын басқарудағы бұлтты есептеулер шешім қабылдау үшін деректерді дәлірек талдауға және пайдалануға мүмкіндік береді, бұл ақыр соңында су ресурстарын пайдаланудың тиімділігін арттыруға және су жүйелерінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді [7]. Мысалы :

- нақты уақыт режимінде деректерді беру және үздіксіз бақылауды қамтамасыз ету үшін заттар интернеті (IoT) жүйелерін пайдалану [8,9];
- су ресурстары деректерін кеңістіктік талдау және визуализациялау үшін географиялық ақпараттық жүйелерді (ГАЖ) қолдану;
- су басу қаупі жоғары аймақтарды анықтау, су ресурстарын бөлуді оңтайландыру және инфрақұрылымдық жобаларды жоспарлау үшін цифрлық карталарды құру [10];
- үлкен технологияларды қолдану Су ресурстары туралы деректердің үлкен көлемін сақтауға және өңдеуге арналған деректер ;
- Трендтерді анықтау, ресурстардағы өзгерістерді болжау және негізделген шешімдер қабылдау үшін үлкен деректерді талдау;
- деректерді өңдеудің қолжетімділігі мен жеңілдігін қамтамасыз ету үшін деректерді бұлттық қоймаға орналастыру [11];
- су ресурстарын басқаруға арналған қосымшалар мен қызметтерді әзірлеу үшін бұлттық платформаларды пайдалану;
- су жүйелеріндегі өзгерістерді болжау үшін математикалық модельдерді әзірлеу [12];
- су ресурстарын бөлуді жақсарту және инфрақұрылымның жұмысын оңтайландыру үшін оңтайландыру алгоритмдерін қолдану;
- су ресурстары саласындағы іс-қимылдарды үйлестіру үшін орталықтандырылған ақпараттық басқару жүйелерін әзірлеу;
- ERP жүйелерін пайдалану (Кәсіпорын Ресурс Жоспарлау) ресурстарды, персоналды және жобаларды тиімді басқару үшін;
- су ресурстарымен айналысатын ұйымдар мен мекемелер арасында құжат айналымы мен ақпарат алмасудың электрондық жүйелерін енгізу;
- жергілікті жерде деректерді жинау, бақылау және түпкілікті пайдаланушылардың кері байланысы үшін мобильді қосымшаларды әзірлеу.

Жоғарыда аталған ақпараттық технологияларды су ресурстарын басқаруда пайдалану тиімділікті айтарлықтай арттыруға, шешімдер қабылдауды жақсартуға және су жүйелерінің тұрақтылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, бұл Қазақстанның су ресурстарын басқару мәселелерін шешуге жаңа көзқарас болып табылады.

Су ресурстарын зерттеу және талдау нәтижелері ауыл шаруашылығында суды пайдалануды оңтайландыруға көмектеседі. Бұл су ресурстарын бағалау бойынша ғылыми-талдау жұмыстары кешенін қамтиды; Цифрландыру су есебі Жамбыл облысы, әртүрлі көздерден алынған су деректерін бірыңғай ақпараттық жүйеге біріктіру; Үлкен деректерді өңдеу негізінде ауыл шаруашылығы секторындағы су ресурстарын тиімді басқаруда шешім қабылдауды қолдауға арналған ақпараттық-аналитикалық мониторинг жүйесі; Су

ресурстарының мониторингі мен бағалау модульдерін жетілдіру үлкен деректерді өңдеуге негізделген; Үлкен мәліметтерді өңдеу негізінде Жамбыл облысының су ресурстарын модельдеуге және болжауға арналған географиялық ақпараттық жүйе [13,14].

Өнеркәсіптік кәсіпорындар суды тұтынуды азайту, өндірістік процестерді оңтайландыру және экологиялық стандарттарды орындау үшін су ресурстарын талдауды қолдана алады [15,16].

4. Қорытынды

Су ресурстарының мониторингі мен талдауы судың ластануы және су экожүйелерінің нашарлауы сияқты экологиялық қауіптерді анықтауға және оларға әрекет етуге мүмкіндік береді. Су ресурстарын талдау табиғатты және биоәртүрлілікті, әсіресе су ресурстарына тәуелді экожүйелерді сақтаудың стратегиялары мен шараларын әзірлеуде қажет [17,18]. Сондықтан жобаның ғылыми-зерттеу жұмыстарының деңгейіне, ғылыми-техникалық әлеуетіне, ғылыми ұйымдар мен олардың ұжымдарының бәсекеге қабілеттілігіне, жоба нәтижелерінен күтілетін әлеуметтік-экономикалық нәтижеге әсері жоғары.

Ақпараттық талдау жүйесі біріншіден шөп тұқымдас өсімдіктерді анықтау болып табылады, бұл мәліметтерді талдау негізінде әр шөп түрі үшін суды тұтынуды дәл анықтауға мүмкіндік береді. Екіншіден суару үшін өте маңызды топырақ құнарлылығының дәрежесін анықтайды. Үшіншіден, ауа-райының айлар бойынша әсері, маусымдық суды тұтыну.

Ғылыми-зерттеу жұмыстары AP23489115 жобасы аясында «Үлкен деректерді өңдеу негізінде ауыл шаруашылығы саласында су ресурстарын тиімді басқару моделі және мониторингілеу жүйесін құру» М.Х.Дулати атындағы Тараз университетінде жүргізілуде.

Әдебиеттер тізімі

1. Юрлова Н.А. , Б.А. Кутлин, С.А. Ропейко. NPO RIVS АҚ технологиялық және жобалық шешімдеріндегі экологиялық қауіпсіздік /IMPC 2018 - 29th International Mineral Processing Congress, pp. 2922–2927 жж.
2. С. Егемова, К. Раджиев, А.Джилили, М.Лонг, С.Алим, Г.Исанова, Г.Ёнсяо, К.Винод, А.Кешаварзи, Р.Есус. Қазақстандағы Сырдария өзенінің шекаралас аймақтарында құрғақ ауа райы жағдайында суды сақтаудың негізгі ақпараты мен жерге орналастыру жоспарларын анықтау/ Су (Швейцария) , 10(12), 1754 ж.
3. Ю.Мұртазин , О.Мирошниченко , Л.Трушел , И.Шәкібаев , Н.Захарова . Суармалы массивтердің гидрогеологиялық-мелиоративтік жағдайларының тұрақты математикалық үлгілерін жасау әдістері (Ақдала суармалы сілемі, Қазақстан мысалында)/ Халықаралық көпсалалы ғылыми геоконференция маркшейдерлік геология және тау-кен экологиясын басқару, 18(1.2), 473–480 б.
4. Н.Гадаев , Д.Гуломов , Ж.Эгамов , М.Насирова , Ж.Норбоев . Интерполимерлі кешен негізінде қалыптасқан экран арқылы топырақтағы минералды тыңайтқыштарды жуудың әдістемесін әзірлеу/E3S Web of Conferences, 264, 03045/ 2021
5. Исаева, С.Д. , Дедова, Е.Б. Су ресурстарына техногендік әсерлер жағдайында геожүйенің экологиялық тұрақтылығын қамтамасыз ету принциптері / IOP Конференциялар сериясы: Жер және қоршаған орта туралы ғылым , 867(1), 012038. 2021 ж.
6. Р Губарева, R. P. Lopes, Компьютерлік және ақпараттық ғылымдағы қалалық ресурстарды/коммуникацияларды талдаудағы үлкен деректер тенденциялары , 1706 CCIS, pp. 215–229, 2023 ж

7. Antzoulatos, G. , Mourtzios, C. , Stournara, P. , ... Vrochidis, S. , Kompatsiaris, I. Қалалық су ды ақылды ету: SMART-WATER шешімі/ Су ғылымы және технологиясы , 82(12), бет. 2691–2710
8. Вэнь, З. , Лю, Дж. Сұраныс жағындағы деректер орталығы бар гибридті жел-күн-су электр қуатын өндіру жүйесі үшін оңтайлы жоспарлау әдісі/ Дианван Джишу/қуат жүйесі технологиясы , 43(7), б. 2449–2459, 2019 ж
9. Ю.Чжан, Ф.Чжан, Х.Ай, Х.Чжан, Ю.Фэн. Түйіршіктелген есептеулерге негізделген су ресурстарының интеллектуалды жүйесі үшін динамикалық үлкен деректерді біріктіру және білімді ашу тәсілі/ Өлшем: сенсорлар , 30-том , 2023 жылғы желтоқсан, 100899
10. Zheng, Y., Xu, Z., Tian, Y. Үлкен ауқымды топтық шешім қабылдау және оны қолдану үшін түйіршікті есептеу және оңтайландыру моделіне негізделген әдіс/ *Экономикалық зерттеулер-Экономска Истразиванжа* , 35 (1), pp. бет. 5221-5252, 2022 ж.
11. Ван, П., Сюэ, Х., Ю, З., Чжан, Ф. Үлкен деректер ортасында интернеттегі қоғамдық пікір деректері үшін семантикалық біріктіру және тарату моделі / Performability Engineering International Journal, 15 (12), pp. бет. 3099-3107, 2019 ж.
12. Zhang, F., Xue, H. F., Zhang, Y. H. Жер асты сулары туралы көп көзді қашықтан зондтау деректеріне арналған жаңа BP нейрондық желіні біріктіру алгоритмі / Қолданбалы экология және қоршаған ортаны зерттеу, 17 (4), б. 9083-9095, 2019 ж
13. Чжан, Ф., Сюэ, Х.-Ф., Чжан, Дж.-Ц. IoT / Sustainable Computing негізіндегі су ресурстары үшін көп көзді үлкен деректерді динамикалық қысу және оңтайландыру әдісі : Информатика және жүйелер, 20, pp. 210-219, 2018 ж.
14. Aaron, C., Cholaquidis, A., Fraiman, R., Ghattas, B. Құрылымдық үлкен деректерге арналған көп өзгермелі және функционалды сенімді біріктіру әдістері /() *Multivariate Analysis журналы* , 170, бет. 149-161, 2019 ж.
15. Ким, Ю., Канг, Н., Юнг, Дж. Үлкен деректерге және бұлтты есептеулерге негізделген су ресурстары туралы ақпаратты басқаруға шолу/ *J. Wetlands Res.* , 18 (1), бет. 100-112, 2016 ж
16. Чжан, Х., Чжан, Ф., Чжан, Ю., Ай, Х. Үлкен деректерді біріктіруге негізделген суды үнемдейтін суару шешімдерін қабылдау әдісі / Performability Engineering International Journal, 15 (11), pp. 2916-2926, 2019 ж.
17. Angin, P., Anisi, M.H., Göksel, F., Gürsoy, C., Büyükgülcü, A. Agrilora: Ақылды ауыл шаруашылығына арналған сандық егіз құрылым / Сымсыз мобильді желілер, барлық жерде есептеулер және сенімді қолданбалар журналы, 11 (4) , бет. 77-96, 2020 ж.
18. Аббаси, М., Ягмаи, М.Х., Рахнама, Ф. Ауыл шаруашылығындағы заттардың интернеті: сауалнама / Заттар мен қолданбалар интернеті бойынша 3-ші халықаралық конференция материалдары, IoT 2019, арт. жоқ. 8808839.

Ералиева Бахыт Шынжырбековна – PhD. М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті; 080000, Тараз; e-mail: b_eral@mail.ru;
Боранкулова Гаухар Сарсенбаевна – т.ғ.к. М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті*; 080000, Тараз; e-mail: b.gau@mail.ru*
Тунгатарова Айгуль Турысжановна – п.ғ.к. М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті; 080000, Тараз; e-mail: at.tu@mail.ru
Мурзахметов Аслан Нурбекович – PhD. М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті; 080000, Тараз; e-mail: b_eral@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ИХ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В. Вуйцик[1,2], П. Кисала[1,2], А.У. Калижанова[1,3], А.Х. Козбакова[1,4], М.М. Кунелбаев[1,5]
[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,
[2]Люблинский технический университет,
[3]Алматинский университет энергетики и связи имени Г. Даукеева,
[4]Алматинский технологический университет
[5]Казахский национальный университет имени аль-Фараби
e-mail: kalizhanova_aliya@mail.ru

Аннотация. *В работе представлен анализ влияния изгиба оптических волокон с наклонными решетками Брэгга на их спектральные параметры. Доказана возможность выбора моды оболочки наклонной волоконной решетки Брэгга и связанного с ней оптического диапазона спектра, позволяющего получить наилучшие метрологические свойства при измерении изгиба. Полученные результаты объясняют почему минимумы в спектральных характеристиках, соответствующие только некоторым модам оболочки, изменяют свою форму при изгибе наклонной волоконной решетки Брэгга, что важно для применения решеток Брэгга в качестве датчиков изгиба. Показано, что в случае наклонной волоконной решетки Брэгга возможно агрегировать полученные в ходе эксперимента знания в виде физической модели датчика изгиба волокна.*

Ключевые слова: *наклонная волоконная решетка Брэгга, датчики изгиба, оптические волокна.*

Введение. В течение многих лет анализ физических явлений, происходящих в оптических системах, создал много новых путей развития и возможности использования их в качестве оптических или оптоэлектронных датчиков [1, 2]. Оптические методы измерения физических величин широко исследовались и разрабатывались [3]. Обычные волоконные брэгговские решетки FBG (FBG-Fiber Bragg gratings) и их многочисленные вариации, в виде наклонных структур, все чаще используются в качестве преобразователей механических величин в оптические параметры [4–6]. Использование этих элементов в качестве датчиков изгиба требует, например, их размещения в фотонных волокнах с фотонной щелью PBGFs (PBGFs-Photonic Bandgap fiber -полностью сплошные фотонные запрещенные волокна) [7]. Однако такое решение очень чувствительно к эффектам неточностей в геометрии микроструктурных волокон. Также тестируются системы измерения изгиба с использованием длиннопериодной волоконной решетки LPFG (LPFG- long-period fiber grating), волоконной решетки Брэгга FBG [8] и наклонной волоконной решеткой Брэгга TFBGs (TFBGs- tilted fiber Bragg gratings) [9, 10]. Снижение перекрестной чувствительности к температуре такого типа структур часто осуществляется путем использования гибридных структур, также составленных из двух типов оптических решеток: LPFG и TFBG. Таким образом можно исследовать изменения радиуса изгиба [11]. Некоторые из датчиков, использующих элементы TFBG, также можно считать температурно-независимыми [12], вставив сегмент многомодового волокна между одномодовым волокном и элементом TFBG. Известны также структуры, используемые в качестве датчиков изгиба [13], в которых решетка FBG записана в том же месте, что и TFBG (структура наложенной решетки). В таких системах отраженный от решетки FBG сигнал модулируется TFBG, которая чувствительна к изгибу [14]. Среди существующих методов измерения изгибов с использованием элементов TFBG необходимо упомянуть те, которые позволяют измерять макроизгибы с очень малыми значениями [15]. Например, в [16] был предложен весьма

перспективный метод, но он позволяет измерять только радиус изгиба. Кроме того, в предположениях этого метода можно измерять только несколько дискретных значений изгиба. При анализе существующих решений датчиков на основе TFBG для измерения изгиба ставится цель разработать решения, которые будут нечувствительны к изменению температуры, хотя измерительным преобразователем является оптическое волокно с решеткой Брэгга [17]. Желательной особенностью также является возможность измерения других физических величин тем же измерительным элементом. В работах по использованию элементов TFBG в качестве преобразователей изгиба оптического волокна для изменения оптических параметров распространяющегося света нет ни анализа отдельных спектральных диапазонов, ни сравнения поведения отдельных распространяющихся мод в оптическом волокне, подверженном изгибу. Кроме того, нет прямого анализа, объясняющего, для каких углов и мод структуры TFBG можно получить максимизацию ее чувствительности к изгибу. Физическое правило, определяющее свойства спектральных характеристик, наблюдаемых для решеток Брэгга, подвергнутых изгибу, действительно известно, но в случае наклонных структур Брэгга спектральная эволюция отдельных мод недостаточно объяснена. В настоящее время недостаточно исследований, показывающих возможность оптимизации физических параметров TFBG, используемых в качестве датчика изгиба.

Поэтому в данной работе приводятся условия, при которых возможно достижение наибольших спектральных сдвигов. Определены углы структур TFBG и указаны конкретные линейно поляризованные (LP) моды, для которых возможна такая максимизация сдвигов. Также указаны условия, при которых диапазон измерений существенно ограничивается и спектральные характеристики исследуемых структур искажаются, что не позволяет использовать их в качестве датчиков физических величин. Также указаны моды, измерение спектральных сдвигов которых наиболее выгодно с точки зрения максимизации чувствительности к изгибу.

Материал и методы. Спектральный сдвиг для выбранных мод, измеренный с помощью структуры TFBG.

Изменения сдвига отдельных мод зависят от направления приложения изгибающей силы, поэтому необходимо его точное определение. В данной работе представлены результаты спектральных измерений для случая, когда сила действует параллельно оси x системы координат оптического волокна с записанными наклонными дифракционными картинами, формирующими структуру TFBG (рис. 1).

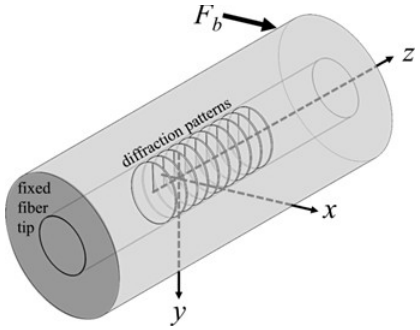


Рис. 1 Геометрия измерительной системы TFBG при изгибе волокна

Структура была записана на оптическом волокне (Corning SMF-28) методом одномодовой фазовой маски с использованием ультрафиолетового излучения на длине волны 248 нм. Система для получения брэгговских структур была модифицирована таким

образом, чтобы получить наклон дифракционных картин, равный 2° Общая длина структуры составила 15 мм, а брэгговский резонанс произошел на длине волны 1564,5 нм.

Контролируемый изгиб применялся при стабильной температуре (22°C) во время записи TFBG в оптическом волокне. Спектральные измерения проводились в системе передачи волокон, подготовленных таким образом со структурами TFBG, согласно схеме, представленной на рис. 2.

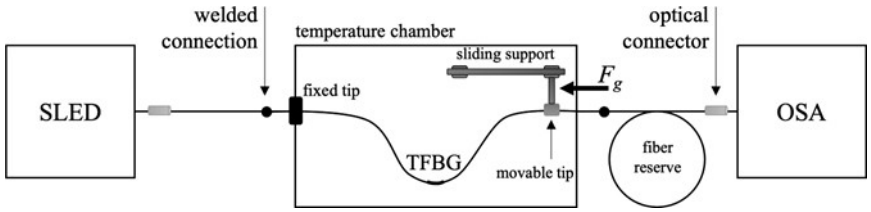


Рис. 2 Схема измерительной системы

Характеристики структуры TFBG, полученные с помощью эксимерного лазера и измеренные в измерительной системе, показанной на рис. 2, показаны на рис. 3. Измерения проводились для нейтральных условий (неизогнутое волокно; изгибающая сила Fg = 0) и для изгиба с радиусом $R = \infty$.

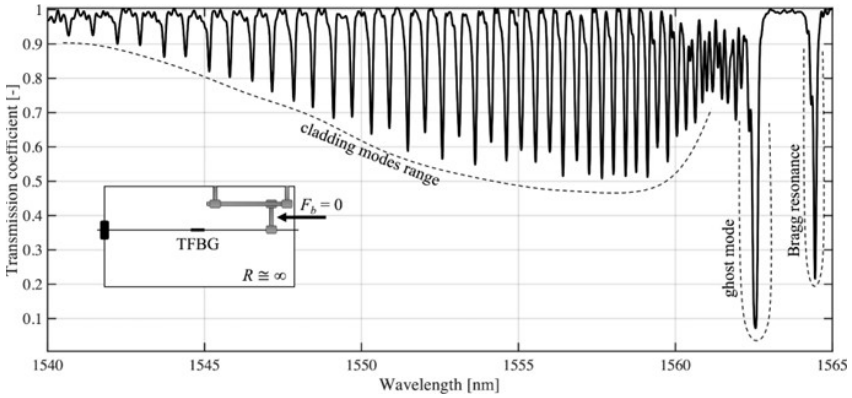


Рис. 3 Спектральная характеристика созданного TFBG, измеренная в системе передачи при отсутствии изгибающей силы

На рисунке 3 показаны три области спектра, которые были дополнительно рассмотрены, область минимумов, связанных с наличием мод оболочки в структуре, минимум, связанный с призрачной модой, и область резонанса Брэгга. На рисунке 4 показана ситуация, в которой оптическое волокно с записанной структурой TFBG было изогнуто из-за ненулевой изгибающей силы $Fg \neq 0$.

Некоторые из минимумов на характеристиках пропускания, соответствующих модам оболочки, были существенно смещены. Высота этих минимумов также изменилась. Это означает, что коэффициент пропускания для данного минимума, полученного из моды оболочки, также изменяется.

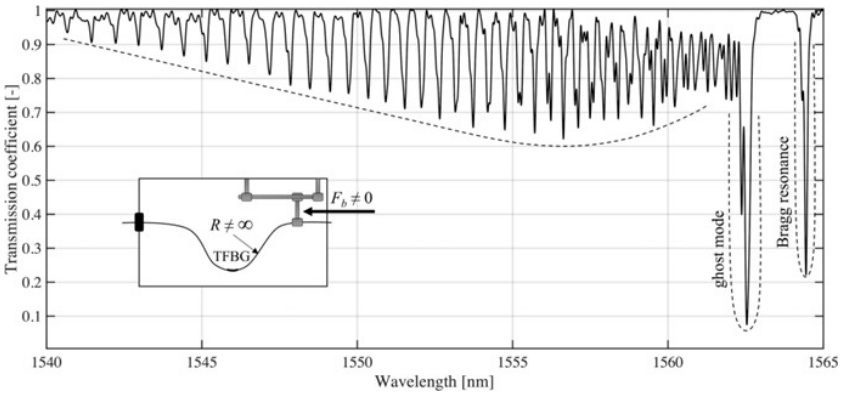


Рис. 4 Спектральные характеристики изогнутого TFBG, измеренные в режиме пропускания

Рисунки 3 и 4 являются только иллюстративными, а точные значения радиусов изгиба и их влияние на спектральные отклики изготовленных передатчиков TFBG представлены далее в статье. На рис. 5 показаны изменения в резонансе Брэгга (рис. 5a), фантомной (призрачной) моде (рис. 5b) и двух выбранных линейно поляризованных модах, наиболее чувствительных к изменениям радиуса изгиба волокна, LP_{110} (рис. 5c) и LP_{015} (рис. 5d).

Характеристики, представленные на рис. 5, были измерены для радиусов изгиба, изменяющихся от 30 мм до 15 мм. Оптическое волокно показывает потери на изгибе ниже критического радиуса изгиба. Для SMF-28 на длине волны 1,5 мкм критический радиус изгиба составляет 6–8 мм [18]. Поэтому в данной работе был выбран безопасный диапазон радиусов изгиба от 30 до 15 мм. Серой пунктирной линией отмечены формы сигналов, измеренные при радиусе изгиба 30 мм, а штриховой черной линией — характеристики, измеренные при радиусе изгиба 15 мм. Выбранные моды TFBG с разной чувствительностью реагируют на изменение радиуса изгиба волокна. При анализе всей спектральной характеристики можно выделить две моды: LP_{110} (рис. 5c) и LP_{015} (рис. 5d), для которых спектральный сдвиг, вызванный изменением радиуса изгиба на 15 мм, наибольший. Для визуализации спектрального сдвига для выбранных 4 мод, таких как, резонанса Брэгга (рис. 5a), фантомной моды (рис. 5b), моды LP_{110} (рис. 5c) и моды LP_{015} (рис. 5d), были измерены характеристики передачи для волокон, изогнутых от 30 мм до 15 мм с шагом 0,5 мм при постоянной контролируемой температуре. Результаты этих измерений обобщены на рис. 6, который показывает характеристики обработки датчика изгиба TFBG. Как минимум, связанный с резонансом Брэгга (рис. 6a), так и моды низшего порядка, составляющие фантомную моду (рис. 6b), подвергаются практически пренебрежимо малому спектральному сдвигу. Изменение длины волны для этих минимумов составляет 10 пм. Ситуация иная в случае мод LP_{110} и LP_{015}. В случае моды LP_{110} изменение минимальной длины волны, связанной с ее существованием в характеристиках пропускания волокна с TFBG, составляет примерно 280 пм (рис. 6c), а для моды LP_{015} — 170 пм (рис. 6d). Стоит также отметить, что в случае моды LP_{015} характеристика обработки монотонна во всем диапазоне изменения радиуса изгиба от 30 мм до 15 мм.

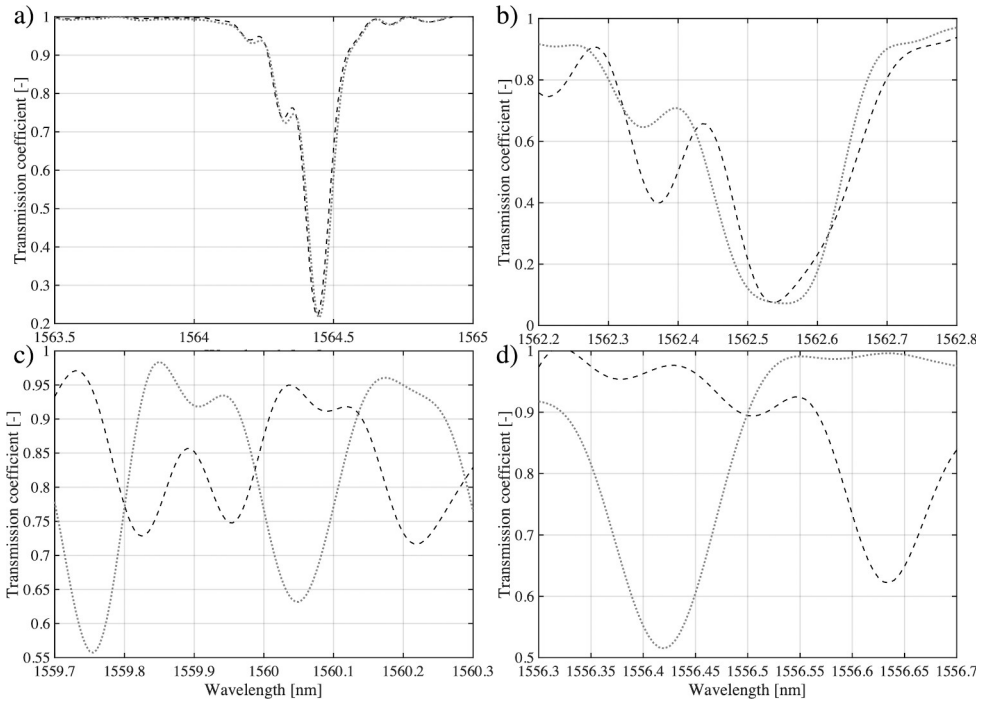


Рис. 5 Модификации отдельных мод структуры TFBG, подвергнутых изгибу, резонанс Брэгга (a), фантомная мода (b), LP_{110} (c) и LP_{015} (d)

В случае моды LP_{110} можно выделить несколько областей изменения сдвига длины волны в зависимости от изменения радиуса изгиба. Монотонное уменьшение величины спектрального сдвига в случае этой моды происходит с 15,5 нм, причем это уменьшение неравномерно для всего диапазона изменения радиуса изгиба и является наибольшим для радиусов изгиба примерно 17 мм и 22 мм. Реакцию отдельных мод оболочки на изгиб можно выразить, определив чувствительности спектрального сдвига данной моды на единицу изгиба. В рассматриваемом случае в качестве меры изгиба наиболее удобно будет принять величину радиуса изгиба, поскольку он принимает одно и то же значение по всей длине структуры TFBG. Выражение, задающее определенную таким образом чувствительность к изгибу, запишется в следующем виде:

$$S_{LP_{m\in\zeta}} = \frac{\Delta\lambda_{min}}{\Delta R}\zeta \tag{1}$$

где $\Delta\lambda_{\text{min}}$ — изменение минимальной длины волны выбранной моды, ΔR — изменение длины радиуса изгиба, вызывающее спектральный сдвиг моды, m — азимутальный номер моды, m = 0 или 1, а n — радиальный номер моды. Спектральный сдвиг, вызванный уменьшением радиуса изгиба волокна для моды LP_{110}, составляет 18,7 пм/мм. Мода LP_{110} перемещается в рассматриваемом диапазоне радиуса изгиба на 0,28 мм (рис. 6). В свою очередь, в случае моды LP_{015} спектральный сдвиг составляет всего 0,17 нм, что дает чувствительность 11,3 пм/мм. Таким образом, спектральный сдвиг может быть мерой изгиба волокна с TFBG, и важно знать номер моды, сдвиг которой измеряется.

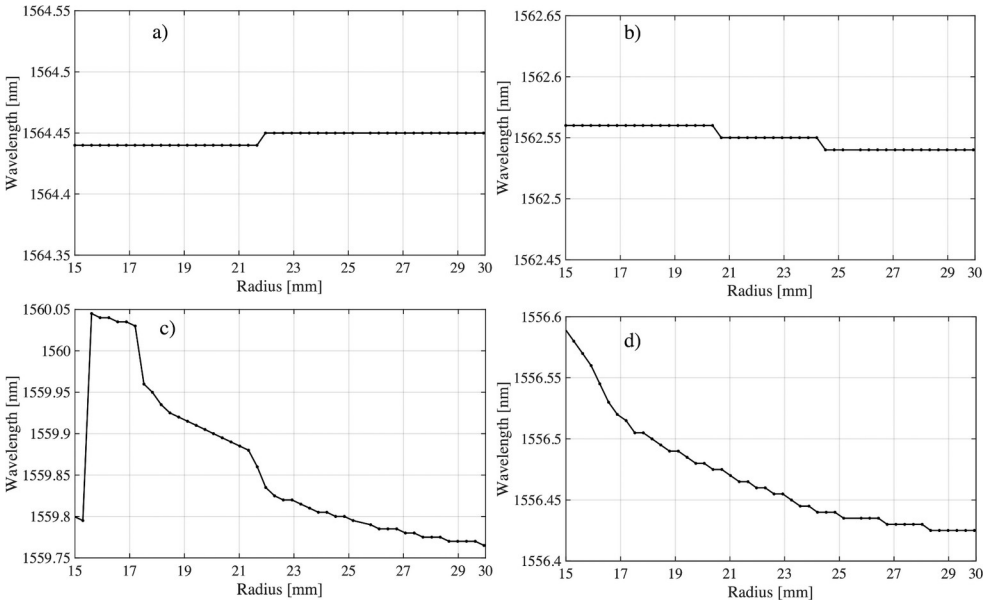


Рис. 6 Характеристики обработки TFBG при изгибе для выбранных распространяющихся мод в структуре: резонанс Брэгга (a), фантомная мода (b), LP_{110} (c) и LP_{015} (d)

Другие моды также претерпевают спектральный сдвиг. Мода LP_{016} также сдвигается с коэффициентом чувствительности S_{LP016} 8,4 пм/мм. Последовательные моды более высокого порядка также сдвигаются из-за изгиба всей структуры. Например, LP_{017} смещается на 6,8 пм на каждый миллиметр изменения радиуса изгиба структуры. В рассматриваемом диапазоне изменения изгиба общий сдвиг моды LP_{017} составляет 130 мкм. Характерно также, что в структуре TFBG все моды порядка выше LP_{017} имеют все меньшие значения коэффициента чувствительности к изгибному сдвигу. Например, мода LP_{018} смещается всего на 105 мкм. Коэффициент чувствительности к изгибному сдвигу для этой моды составляет всего S_{LP018} = 7 пм/мм. Спектральный сдвиг моды LP_{119} теперь составляет всего 45 пм. Коэффициент S_{LP119} этой моды составляет 3 пм/мм, в то время как длины волн моды LP_{122} изменяются всего на 25 пм, что в свою очередь соответствует S_{LP119} чувствительности этой моды всего 1,7 пм/мм. Характерно, что для TFBG с углом наклона плоскостей дифракции, составляющим 2°, для всех мод оболочки высшего порядка, с азимутальными числами 0 и 1, начиная с LP_{024}, явление спектрального сдвига практически не заметно, так для LP_{027} оно исчезает. Проведенные экспериментальные исследования показывают ряд выводов утилитарного значения. Наибольшая чувствительность к изгибу для структуры TFBG (θ = 2°) достигается путем измерения спектральных сдвигов мод низшего порядка, но она не входит в фантомную моду, для моды LP_{06}. Однако эта мода наиболее близка к фантомному типу, и ее перемещение вызывает ее поглощение фантомом после превышения определенного значения радиуса изгиба. Это обуславливает как ограничение диапазона измерений, так и искажение ее спектральных характеристик по мере приближения к фантомной моде. На рисунке 7 показаны длины волн отдельных мод для начального состояния, для радиуса изгиба R = 30 мм и конечного состояния, соответствующего радиусу изгиба волокна, равному R = 15 мм.

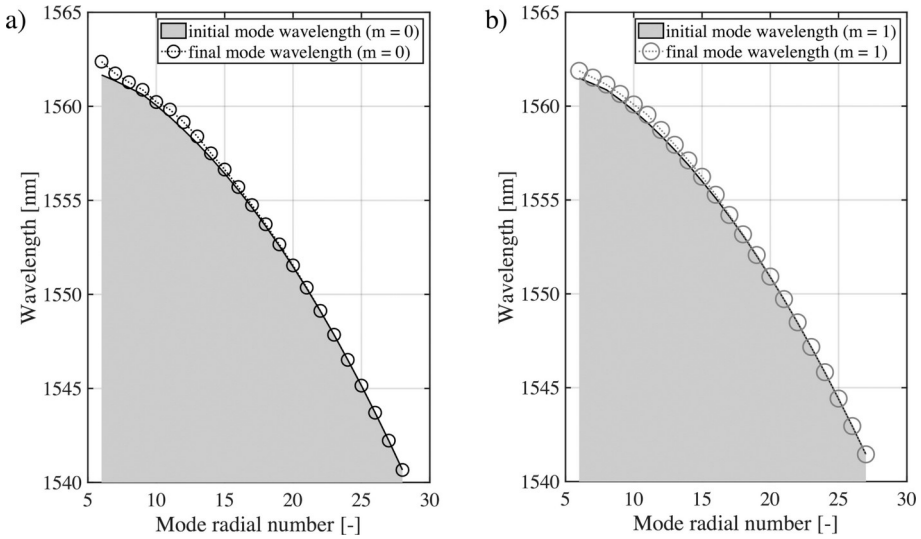


Рис. 7 Изменения длин волн для мод с азимутальными числами m = 0 (а) и m = 1 (б)

На рисунке 7a показаны изменения длины волны мод с азимутальным числом m = 0, а на рисунке 7b показаны моды с числом m = 1. Как видно, начальные и конечные длины волн различаются только для мод до определенного предельного радиального числа n. Однако предел, при котором из-за изгиба уже не происходит сдвига длины волны, зависит не только от радиального номера моды, но и от ее азимутального номера. Для группы мод с номером m = 0 первой модой, для которой нет разницы между начальной и конечной длиной волны, является мода с радиальным номером n = 23. В свою очередь, для мод, для которых m = 1, первой модой, не испытывающей сдвига длины волны из-за изгиба, является мода с n = 26. Анализируя результаты измерений, представленные на рис. 8, можно видеть, что с точки зрения максимизации чувствительности к изгибу в рассматриваемом диапазоне измерений наиболее выгодно измерять спектральные сдвиги мод с максимальными значениями сдвига длины волны. Отметим, что есть несколько мод, для которых величина такого сдвига близка или больше 400 нм. В частности, это моды LP_{16}, LP_{06}, LP_{17}, LP_{011}, LP_{111} и LP_{112}. В случае решетки с углом θ = 2° этот спектральный диапазон наиболее чувствителен к изгибу и одновременно реагирует в широком диапазоне изменения радиуса изгиба.

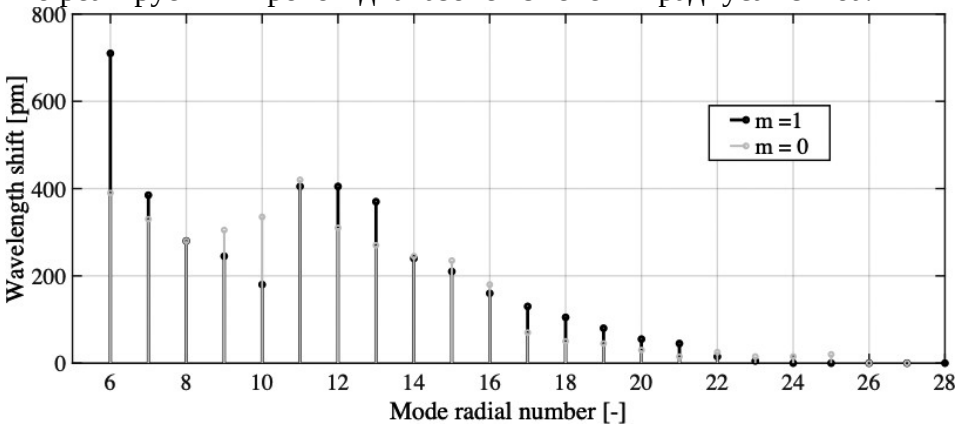


Рис. 8 Значения спектральных сдвигов для всех мод LP_{0n} и LP_{1n} из-за изгиба TFBG по оси x

Изменения формы спектральных характеристик оптических волокон TFBG.

Помимо изменения длины волны мод оболочки TFBG, существует еще одно явление, связанное с изгибом оптических волокон TFBG. Оно состоит в изменении формы отдельных минимумов, полученных из определенных мод оболочки. Для обсуждения обоих

этих явлений на рисунках ниже показаны изменения в спектрах отдельных мод после индуцированного изгиба TFBG. Существует такой спектральный диапазон, в котором спектральные характеристики моды оболочки принимают форму одного минимального опыта, разделенного на два отдельных минимума. Явление расщепления пиков на спектральных характеристиках, полученных из мод оболочки, наиболее сильно проявляется в спектральном диапазоне от 1556 нм до 1559 нм, как показано на рис. 9. Этот спектральный диапазон включает моды с радиальными числами со значениями между 13 и 15.

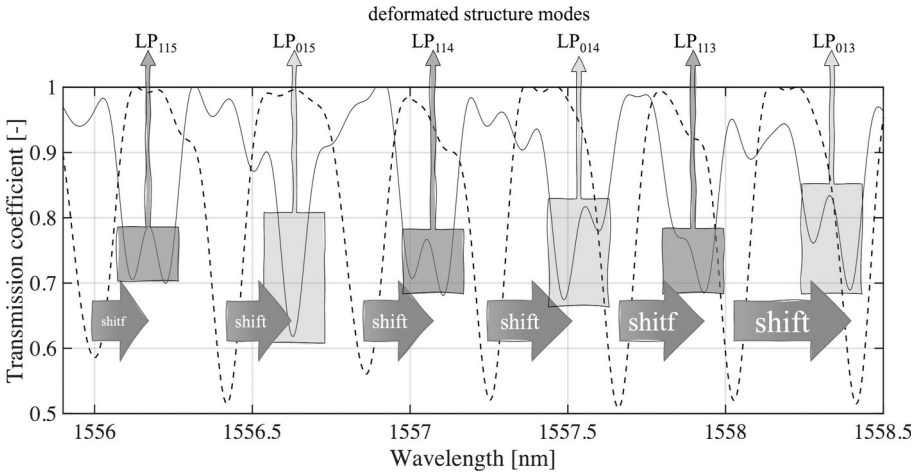


Рис. 9 Деформация и смещение минимумов, связанные с существованием мод с радиальными числами 13–15

Пунктирная линия показывает моды до деформации изгиба, а сплошная линия показывает моды после деформации. Результаты измерений, представленные на рис. 9, показывают очень интересное явление, состоящее в появлении второго минимума, соответствующего заданной моде оболочки. В этом исследовании это явление называется расщеплением минимумов, полученных из мод оболочки. Расщепление каждой второй моды происходит в гораздо более широком спектральном диапазоне. Однако все более слабая реакция изгиба мод низшего порядка и все меньшие минимальные высоты делают спектральное расщепление более трудным для наблюдения. Для спектрального диапазона между 1540 нм и 1550 нм расщепление практически невидимо, как и спектральный сдвиг.

Явления, наблюдаемые во время измерений, можно объяснить, проанализировав распространение электромагнитной волны через структуру TFBG. Эти явления включают спектральный сдвиг, изменение формы пика, уширение пика и расщепление. Реакция устройства TFBG на изгиб оптического волокна была объяснена в [15] и связана с изменением эффективного угла наклона датчика. Это объяснение не совсем полное, поскольку, по сути, диаметр оболочки оптического волокна очень мал по сравнению с радиусом изгиба, который обычно составляет около дюжины сантиметров. Радиус изгиба 15 см создает петлю волокна с окружностью 94 мм, что на несколько порядков больше при диаметре оболочки 150 мм. В связи с вышеизложенным, эффект изменения угла наклона плоскостей TFBG, описанный в [15], настолько мал, что его можно игнорировать. Фактически, изменяется коэффициент связи отдельных мод оболочки. Это, в свою очередь, вызвано изменениями симметрии самих мод. Этот вывод следует из работ, в которых обсуждается применение теории связанных мод для расчета энергии, переносимой этими конкретными модами в анизотропных оптических волокнах. В [19] было показано, что моды оптических волокон подвергаются изгибному сдвигу за пределами волновода. С

другой стороны, при анализе результатов, представленных в [20], можно заметить, что эффективные показатели преломления мод оболочки и сердцевины также изменяются. Изгиб волокна TFBG вызывает относительное удлинение ε вдоль этого волокна. Это параллельно оптической оси волокна. Предполагая, что волокно изгибается в одной плоскости с радиусом R, а изгибающая сила параллельна оси y, мы можем записать, что относительное удлинение будет определяться следующим уравнением:

$$\varepsilon = \frac{y}{R} \tag{2}$$

В свою очередь, появление такого удлинения вдоль оптического волокна изменит показатель преломления в соответствии с фотоупругим эффектом [21]. Это изменение можно описать уравнением ниже:

$$\Delta n = \frac{y n^3 \left((1-v) p_{12} - v p_{11} \right)}{2R} \tag{3}$$

где v – коэффициент Пуассона, p_{12} и p_{11} — фотоупругие константы, а n — показатель преломления. Постоянная Пуассона равна v = 0,16, а p_{12} и p_{11} равны 0,252 и 0,113 соответственно.

Анализируя (3), можно сделать вывод, что изменение показателя преломления из-за изгиба оптического волокна зависит от положения вдоль оси y. Значение Δn равно 0 в сердцевине волокна точно вдоль его оси (y = 0). Также можно сделать вывод, что для положительного и отрицательного положения на оси y изменение показателя преломления Δn из-за изгиба волокна имеет разные знаки. Нижняя часть волокна, для которой y положительно, сжимается изгибом, в то время как верхняя часть, для которой y отрицательно, находится в растяжении. Нейтральным является только слой, расположенный точно посередине волокна, т.е. он не сжимается и не растягивается из-за изгиба структуры. Отметим, что согласно (3), в случае отсутствия изгиба, при радиусе изгиба, достигающем бесконечности Δn, он не зависит от положения вдоль оси y, поскольку чем больше мы изгибаем оптическое волокно, тем большие изменения n мы получаем. На границе оболочки и радиуса изгиба R = 30 мм абсолютное изменение показателя преломления составит Δn = 1,25·10^{-3}, а при изгибе с радиусом R = 15 мм изменение показателя преломления уже более чем в 2 раза больше и составляет даже 2,8·10^{-3}. Приведенные зависимости оказывают ключевое влияние на изменение формы и сдвиги спектральных характеристик отдельных оболочечных мод структуры TFBG, подвергнутых изгибу. Появление возмущения в виде диагональной брэгговской решетки в одномодовом волокне приводит к тому, что свет, вводимый в оптическое волокно и распространяющийся в сердцевине, связывается с рядом оболочечных мод. Эти моды имеют строго определенное распределение мощности, а значит, строго определена и интенсивность света, распространяющегося в отдельных модах. Их можно определить, численно решив уравнение собственных значений для LP-мод [22].

С увеличением азимутального числа увеличивается и число максимумов на характеристиках распределения интенсивности света. Когда радиальное число равно 1, для азимутального числа, равного 0, имеется один максимум. Моды с тем же радиальным числом, но азимутальным числом, равным 1, уже имеют два максимума, тогда как моды, для которых n = 1 и m = 2, имеют 4 максимума. Это известное свойство LP-мод влияет на поведение спектральных характеристик отдельных оболочечных мод, распространяющихся по волокнам TFBG.

Согласно (3), нижняя часть волокна, для которой y отрицательно, сжимается изгибом, а верхняя часть, для которой y положительно, находится в состоянии растяжения. Только слой, лежащий точно посередине волокна, не сжимается и не растягивается из-за изгиба структуры. По этой причине мода LP_{01} характеризуется наименьшей зависимостью распределения мощности от радиуса изгиба волокна с TFBG. Диаметр сердцевины волокна значительно меньше диаметра оболочки. Чтобы заметить изменение распределения мощности света, следует выбирать только те моды, которые характеризуются наибольшей зависимостью этого профиля от радиуса изгиба структуры. Это в основном моды низшего порядка, для которых относительно большая часть света распространяется на границе раздела оболочки и сердцевины, а не только в центральной части сердцевины. Известно, что согласно теории связанных мод коэффициент связи света с модой оболочки частично зависит от размера поверхности внутри сердцевины волокна, на которой поперечное распределение интенсивности излучения моды сердцевины и входной оболочечной моды совпадают [23]. Моды LP_{0n} имеют наиболее сильные локальные максимумы интенсивности света в сердцевине волокна вблизи его продольной оси. Это приводит к сильному перекрытию их распределения с распределением интенсивности входного модуля сердцевины LP_{01}. Моды LP_{1n} имеют меньшую интенсивность в центральной части волокна в его сердцевине, поэтому перекрытие их распределений с модой LP_{01} меньше, чем в случае мод с азимутальным числом m = 0.

Заключение. В данной работе объясняются физические явления, приводящие к изменению формы и спектральному сдвигу мод, генерируемых на структуре TFBG. Показаны условия, при которых можно получить наибольшие спектральные сдвиги. Также показано, что при определенном угле наклона дифракционных плоскостей косых брэгговских структур выбор определенных LP-мод позволяет выбрать максимальный спектральный сдвиг при измерении изгиба волокна. Представлены явления искажения спектральных характеристик структур TFBG в виде расщепления минимумов пропускания, возникающих за счет линейно поляризованных мод, и объяснены причины таких деформаций. Также указаны моды, измерение спектральных сдвигов которых наиболее выгодно с точки зрения максимизации чувствительности к изгибу. Проведенный анализ спектральных сдвигов и изменений формы спектральных минимумов, связанных с модами с азимутальными числами 0 и 1 при близких радиальных числах, даст возможность эффективно использовать структуры TFBG в качестве датчиков изгиба.

Таким образом, мы можем выбрать спектральные моды и диапазоны, которые позволяют расширить диапазон измерений и уменьшить ненужные искажения спектральных характеристик, вызванные изгибом оптического волокна. Для измерений с использованием в качестве преобразователей изгиба элементов TFBG наиболее выгодно изготовление структуры с углом 2° и выбор спектрального диапазона, соответствующего десятой линейно-поляризованной моде с азимутальным числом 1 (LP_{110}) или пятнадцатой моде с азимутальным числом 0 (LP_{015}).

Экспериментальные исследования проводились в рамках проекта ГФ темы №AP19679153 «Исследование и разработка метода и технологии создания композитных структур со встроенными фотонными датчиками PSBC (Photonic Smart Bragg Composites)» ИИВТ КН МНВО РК.

Литература

1. Świrniak, G., & Mroczka, J. (2016). Approximate solution for optical measurement of the diameter and refractive index of a small and transparent fiber. Journal of the Optical Society of America A, Optics, Image Science, and Vision, 33(4), 667–676. https://doi.org/10.1364/JOSAA.33.000667

2. Onofri, F. R. A., Krzysiek, M. A., Barbosa, S., Messager, V., Ren, K.-F., & Mroczka, J. (2011). Near- critical-angle scattering for the characterization of clouds of bubbles: Particular effect. Applied Optics, 50(30), 5759–5769. https://doi.org/10.1364/AO.50.005759 https://doi.org/10.1364/AO.50.005759

3. Onofri, F., Krzysiek, M., & Mroczka, J. (2007). Critical angle refractometry and sizing of bubble clouds. Optics Letters, 32(14), 2070–2072. https://doi.org/10.1364/OL.32.002070

4. Tolegenova, A., Kisała, P., Zhetpisbayeva, A., Mamyrbayev, O., & Medetov, B. (2019). Experimental determination of the characteristics of a transmission spectrum of tilted fiber Bragg gratings. Metrology and Measurement Systems, 26(3), 581–589. https://doi.org/10.24425/mms.2019.129585

5. Cięszczyk, S., Kisała, P., Skorupski, K., Panas, P., & Klimek, J. (2018). Rotation and twist mea- surement using tilted fibre Bragg gratings. Metrology and Measurement Systems, 25(3), 429–440. https://doi.org/10.24425/123893

6. Harasim, D., Kisała, P., Yeraliyeva, B., & Mroczka, J. (2021). Design and Manufacturing Optoelec- tronic Sensors for the Measurement of Refractive Index Changes under Unknown Polarization State. Sensors, 21(21), 1–29. https://doi.org/10.3390/s21217318

7. Jin, L., Wang, Z., Fang, Q., Liu, Y., Liu, B., Kai, G., & Dong X. (2007). Spectral characteristics and bend response of Bragg gratings inscribed in all-solid bandgap fibers. Optics Express, 15(23), 15555–15565. https://doi.org/10.1364/OE.15.015555

8. Swanson, A. J., Raymond, S. G., Janssens, S., Breukers, R. D., Bhuiyan, M. D. H., Lovell-Smith, J. W., & Waterland, M. R. (2016). Development of novel polymer coating for FBG based relative humidity sensing. Sensors and Actuators A, 249, 217–224. https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.08.034

9. Kisała, P., Harasim, D., & Mroczka J. (2016). Temperature-insensitive simultaneous rotation and displacement (bending) sensor based on tilted fiber Bragg grating. Optics Express, 24(26), 29922– 29929. https://doi.org/10.1364/OE.24.029922

10. Kisała, P., Mroczka, J., Cięszczyk, S., Skorupski, K., & Panas, P. (2018). Twisted tilted fiber Bragg gratings: new structures and polarization properties. Optics Letters, 43(18), 4445–4448. https://doi.org/10.1364/OL.43.004445

11. Shao, L. Y., & Albert, J. (2010). Compact fiber-optic vector inclinometer. Optics Letters, 35(7), 1034– 1036. https://doi.org/10.1364/OL.35.001034

12. Jin, Y. X., Chan, C. C., Dong, X. Y., & Zhang, Y. F. (2009). Temperature-independent bending sensor with tilted fiber Bragg grating interacting with multimode fiber. Optics Communications, 282(19), 3905–3907. https://doi.org/10.1016/j.optcom.2009.06.058

13. Dong, X., Liu, Y., Shao, L. Y., Kang, J., & Zhao, Ch. L. (2011). Temperature-Independent Fiber Bending Sensor Based on a Superimposed Grating. IEEE Sensors Journal, 11(11), 3019–3022. https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2157124

14. Amanzadeh, M., Aminossadati, S. M., Kizil, M. S., & Rakić, A. D. (2018). Measurement, 128, 119– 137. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.06.034

15. Baek, S., Jeong, Y., & Lee B. (2002). Characteristics of short-period blazed fiber Bragg gratings for use as macrobending sensors. Applied Optics, 41(4), 631–636. https://doi.org/10.1364/AO.41.000631

16. Liu, B., Miao, Y., Zhou, H., & Zhao Q. (2008). Research on Pure Bending characteristic of tilted fiber Bragg grating. IEEE Optical Fiber Sensors Conference, 1–4. https://doi.org/10.1109/APOS.2008.5226323

17. Guo, T., Chen, Ch., Laronche, A., & Albert, J. (2008). Power-Referenced and Temperature-Calibrated Optical Fiber Refractometer. IEEE Photonics Technology Letters, 20(8), 635–637. https://doi.org/ 10.1109/LPT.2008.919457

18. Erps, J. V., Debaes, C., Nasilowski, T., Mergo, P., Wojcik, J., Aerts, T., Terryn, H., Watté, J., & Thienpont, H. (2008). A low loss 180 degrees coupling fiber socket making use of low bending loss hole-assisted fiber. Proc. SPIE 6992, 1–8. https://doi.org/10.1117/12.778649

19. Marcuse, D., (1973). Coupled mode theory of round optical fibers. The Bell System Technical Journal, 52(6), 817–842. https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1973.tb01992.x

20. Block, U. L., Digonnet, M. J. F., Fejer, M. M., & Dangui, V. (2006). Bending-induced birefrin- gence of optical fiber cladding modes. Journal of Lightwave Technology, 24(6), 2336–2339. https://doi.org/10.1109/JLT.2006.874566

21. Marcuse, D. (1976). Field deformation and loss caused by curvature of optical fibers. Journal of the Optical Society of America, 66(4), 311–320. https://doi.org/10.1364/JOSA.66.000311

22. Silva, R. M., Ferreira, M. S., & Frazão, O. (2012). Temperature independent torsion sensor us- ing a high-birefringent Sagnac loop interferometer. Optics Communications, 285, 1167–1170. https://doi.org/10.1016/j.optcom.2011.11.119

23. Erdogan, T., & Sipe J. (1996). Tilted fiber phase gratings. Journal of the Optical Society of America A, 13(2), 296–313. https://doi.org/10.1364/JOSAA.13.00029

ЖАРАТЫЛЫСТАНУ-МАТЕМАТИКАЛЫҚ БЕЙІНДЕГІ ОҚУШЫЛАР ҮШІН «ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ» ЭЛЕКТИВТІ КУРСЫН ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Махамбетова Ж.Е.
e-mail:zhazira8888@mail.ru
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Казахстан

Аннотация. *Бұл жұмыста заттар интернеті (IoT) технологияларын зерттеу және оларды Al-Hamra және Al-Mukhaini (2021 ж.), сондай-ақ Zhou және оның әріптестерінің (2020ж.) жұмыстарын талдау негізінде білім беру саласында қолдану жүргізілді. Екі автор да ғаламторды оқытуда пайдаланудың негізгі аспектілерін тұжырымдап, олардың әлеуетін көрсетеді.Stepik, Coursera, edX және Cisco платформаларында қол жетімді IoT бойынша онлайн-курстарды салыстырмалы зерделеу жүргізілді. Курстардың құрылымы, ұсынылатын ақпараттық материалдар және практикалық тапсырмалар сияқты критерийлер талданды. Мектеп бағдарламасындағы аналогтік оқулық «Мектеп», «Алматыкітап» және «Атамұра» баспаларынан мектептерге жаратылыстану-математикалық бейіндегі оқушыларға арналған информатика оқулықтары қарастырылды. Заттар интернеті тақырыбының қалай ұсынылғанына ерекше назар аударылып, ол классикалық бағдарламаларда егжей-тегжейлі ашылған. Оқу барысында анықталған түйінді проблемалардың бірі мектеп бағдарламаларында Интернет заттарын оқытуға бөлінген оқу сағаттарының жеткіліксіздігінен, бұл оқушылардың осы технологияларды толық игеру мүмкіндіктерін шектейді. IoT тақырыптарын бейнесіне негұрлым тиімді енгізу үшін тақырыптық жоспар мен әдістемелік ұсынымдар әзірленді.*

Кіріспе. Біздің ақпараттық ғасырда, барған сайын құрылғылар Интернетке қосылады, «Заттардың интернеті» (IoT) тұжырымдамасы барған сайын маңызды бола түсуде. IoT бізге өзара әрекеттесу үшін физикалық әлем мен цифрлық орта арасында жаңа мүмкіндіктерді ашады. Миллиардтаған құрылғылар, соның ішінде сенсорлар, активаторлар, мобильді құрылғылар мен өнеркәсіптік жүйелер, жинап, осы жаһандық желінің бір бөлігі болыңыз және деректердің үлкен көлемін беру, бұл одан әрі шешім қабылдау үшін пайдаланылады, процестерді оңтайландыру және жаңа қызметтерді құру. Ақпараттық жүйелер жинауда маңызды рөл атқарады, алынған мәліметтерді өңдеу, беру және талдау IoT құрылғыларынан. Олар мүмкіндіктер береді осы деректерді сақтау, өңдеу және визуализациялау үшін,сонымен қатар Интернет заттары ортасында басқару, бақылау және бақылау функцияларын қолдайды.[1]

Al-Hamra және Al-Mukhaini (2021) білім беру мекемелерінде қолданылатын заттар интернетінің (IoT) қолданыстағы технологияларына егжей-тегжейлі шолу жасайды. Авторлар IoT оқыту сапасын қалай жақсартуға, оқу процесін интерактивті және жекелендіруге болатынына көңіл аударды.

Білім берудегі қолданыстағы заттар интернеті технологияларына шолу.

1. Ақылды сыныптар (Smart Classroom)

Сипаттама: ақылды сыныптар интерактивті тақталар, сенсорлар, проекторлар және басқа гаджеттер сияқты әртүрлі IoT құрылғыларымен жабдықталған. Бұл технологиялар студенттердің оқу процесіне белсенді қатысуына ықпал етеді.

Артықшылықтары: мұғалімдерге материалды динамикалық түрде ұсынуға және студенттерге онымен өзара әрекеттесуге мүмкіндік береді, бұл қатысуды арттырады және ақпаратты игеруді жақсартады.

2. Оқытуды басқару жүйелері (Learning Management Systems, LMS)

Сипаттама: Заттар интернеті сабаққа қатысу, Оқу үлгерімі және материалдармен өзара әрекеттесу сияқты студенттердің іс-әрекеттері туралы деректерді жинау үшін LMS-пен біріктіре алады.

Артықшылықтары: бұл жүйелер мұғалімдерге оқушылардың үлгерімін бақылауға және олардың жетістіктерін жақсарту үшін жеке ұсыныстар беруге көмектеседі.

3. Студенттердің денсаулық жағдайын бақылау

Сипаттама: кейбір білім беру мекемелері студенттердің денсаулығын бақылау үшін IoT құрылғыларын пайдаланады(мысалы, физикалық белсенділікті немесе денсаулықты бақылайтын киілетін құрылғылар).

Артықшылықтары: бұл студенттердің физикалық әл-ауқатын жақсартуға мүмкіндік береді және білім беру психологтары мен денсаулық сақтау мамандары үшін пайдалы болуы мүмкін деректерді ұсынады.

4. Қашықтықтан оқыту

Сипаттама: IoT технологиялары студенттерге білім беру ресурстарына қол жеткізуге және интернет арқылы оқытушылармен өзара әрекеттесуге мүмкіндік беретін қашықтықтан оқытуды ұйымдастыруда шешуші рөл атқарады.

Артықшылықтары: студенттер өздеріне ыңғайлы уақытта және кез келген жерде оқи алады, бұл білім беруді қолжетімді етеді.

5. Ақылды кітапханалар

Сипаттама: кітапханалар беру және қайтару процестерін автоматтандыру арқылы кітаптар мен басқа ресурстардың қорларын басқару үшін IoT пайдалана алады.

Артықшылықтары: бұл оқу материалдарына қол жеткізуді жеңілдетеді және кітапхана ресурстарын ұйымдастыруды жақсартады.

Авторлар білім берудегі қолданыстағы заттар интернеті технологиялары оқу процесін жақсартуға және студенттердің белсенділігін арттыруға арналған күшті құрал екенін атап көрсетеді. Дегенмен, бұл технологияларды сәтті біріктіру үшін деректер қауіпсіздігіне, техникалық қолдауға және оқытушыларды оқытуға қатысты қиындықтарды ескеру қажет. [11].

Zhou және оның әріптестерінің (2022) заттар интернетін (IoT) білім беру мекемелеріне біріктіруге байланысты қиындықтар мен мүмкіндіктерді зерттеуге бағытталған. Авторлар IoT технологияларын енгізу білім беру ортасын қалай өзгерте алатынын қарастырады, сонымен қатар IoT-ті оқу орындарында сәтті жүзеге асыру үшін ескеру керек негізгі кедергілерді бөліп көрсетеді.

Білім беруде IoT енгізу мүмкіндіктері

1. Жеке оқыту

Сипаттама: IoT студенттердің үлгерімі мен олардың нақты уақыттағы белсенділігі туралы мәліметтер жинауға мүмкіндік береді. Осы мәліметтер негізінде әр оқушыға жеке ұсыныстар мен тапсырмалар беру арқылы білім беру бағдарламаларын теңшеуге болады.

Артықшылықтары: оқыту материалдары мен әдістерін әр студенттің қажеттіліктері мен оқу стиліне бейімдеу арқылы оқыту тиімділігін арттыру.

2. Интерактивті оқу орталары

Сипаттама: интерактивті тақталар, сенсорлар және планшеттер сияқты IoT құрылғылары білім беру ортасын студенттер үшін интерактивті және қызықты етуге мүмкіндік береді.

Артықшылықтары: оқытушылар мен оқушылардың өзара әрекеттесуін жақсарту, белсенді оқыту әдістерінің арқасында студенттердің белсенділігі мен мотивациясын арттыру.

3. Қашықтықтан оқыту және икемділік

Сипаттама: IoT студенттерге кез келген жерде және кез келген уақытта білім беру ресурстары мен тапсырмаларына қол жеткізуге мүмкіндік беретін қашықтықтан оқытуды қолдайды. Сенсорлар мен құрылғылар оқушылардың физикалық белсенділігін және олардың оқу процесіне қатысуын қашықтықтан да басқара алады.

Артықшылықтары: білімге қол жетімділікті арттыру, әсіресе дәстүрлі сабақтарға қатыса алмайтын студенттер үшін тиімді.

4. Ресурстарды басқаруды оңтайландыру

Сипаттама: IoT оқу материалдарын пайдалануды бақылау, сыныптарды басқару және қуат тұтынуды бақылау сияқты оқу орындарын басқару процестерін автоматтандыруға көмектеседі.

Zhou және оның әріптестері заттар интернетті білімге енгізу білім беру процесін жақсартуға көптеген мүмкіндіктер ұсына отырып, алға жасалған маңызды қадам екенін атап көрсетеді. Дегенмен, бұл технологияларды сәтті енгізу деректер қауіпсіздігіне, оқытушылардың техникалық дағдыларына және инфрақұрылымдық шектеулерге қатысты бірқатар қиындықтарды шешуді талап етеді[12].

"Заттар интернеті" (IoT) терминін алғаш рет 1999 жылы Auto-ID зерттеу тобының негізін қалаушы Кевин Эштон қолданған. IoT – байланыс және ақпараттық инфрақұрылым арқылы көптеген нысандар қосылған біріктірілген желі. Олар өзара ақпарат алмасады және нақты уақыт режимінде адамның араласуынсыз жұмыс істейді. Заттар интернетінің түпкі мақсаты-айналадағы объектілер олардың тілектерін түсінетін және сондықтан ешқандай нақты нұсқауларсыз әрекет ететін адамдар үшін жақсы әлем құру[1].

Заттар интернеті - бұл сенсорлармен, бағдарламалық жасақтамамен және Интернет арқылы басқа құрылғылармен және жүйелермен байланысуға және байланысуға мүмкіндік беретін басқа технологиялармен жабдықталған физикалық объектілердің (құрылғылардың) желісі [Al-Emran, M., & Al-Mukhaini, W. (2021)].

IoT - бұл физикалық объектілерді Интернетке қосатын, әртүрлі қосымшалар үшін деректерді жинауға, бөлісуге және талдауға мүмкіндік беретін парадигма [Wang, J. et al. (2021)].

Интернет заттарын үздіксіз интеграциялауға және автоматтандыруға мүмкіндік беретін Интернет арқылы бір-бірімен байланысатын және деректер алмасатын құрылғылар желісі ретінде анықтауға болады [Kumar, P. et al. (2020)].

Заттар Интернеті - бұл ақылды ортаны құру үшін Интернет арқылы деректерді қосатын және алмасатын сенсорлар мен бағдарламалық жасақтамаға енгізілген өзара байланысты құрылғылар жүйесі [Patel, K. et al. (2022)].

IoT физикалық нысандар Интернетке қосылған экожүйені білдіреді, бұл тиімділік пен автоматтандыруды арттыру үшін деректерді жинауға, бөлісуге және талдауға мүмкіндік береді [Gupta, S. et al. (2023)].

Нәтижелер. Заттар интернетінің мазмұнын анықтау мақсатында бірнеше курстар зерттелді. Заттар интернеті (IoT) — қазіргі заманғы технологиялардың бірі, оны онлайн

оқыту курстары арқылы меңгеру мүмкіндігі көптеген білім беру платформаларында қарастырылған. Онлайн оқыту курстарының платформалары және олардың заттар интернетін оқытуда қолдану мүмкіндіктері талданды.

Платформа	Курстың атауы	Курс сипаты	Сабақ саны	Оқу формасы	Курс тілі	Сертификат	Деңгейі	Алдын ала білім	Ұзақтығы	Практикалық тапсырмалар	Курстың фокусы	Бағасы
Stepik	Интернет вещей. Введение в Arduino	Сапасы жақсы, курс Arduino және iot-пен жұмысты практикалық игеруге бағытталған.	24 сабақ	Практикалық тапсырмалары мен тесттері бар бейнелекциялар	Орыс тілі	Курс аяқталғаннан кейін тегін сертификат	Бастапқы	Бағдарламалау мен электрониканың базалық білімі пайдалыбірақ міндетті емес	Шамамен 12 сағат оқу	Иә, Arduino платформасымен жұмыс істеу бойынша тапсырмалары қамтиды	Микроконтроллерді бағдарламалауға енгізу және Arduino базасында қарапайым iot құрылғыларын жасау	Тегін
Stepik	Введение в Интернет вещей	Орта, курс негізгі тұжырымдамалар мен технологиялары, iot туралы базалық теориялық білімді ұсынады	10 сабақ	Бейне лекциялар, тестілер, практикалық тапсырмалар	Орыс тілі	Аяқталғаннан кейін тегін куәлік	Бастапқы	Қажет емес, жаңа бастайтындарға жарамды	Шамамен 5-6 сағат оқу	Бар, бірақ басқа курстармен салыстырғанда техникалық аспектілерге неғұрлым аз, теория	Заттар интернетінің негіздері, саудет өнері, iot технологияларын қолдану мысалдары	Тегін
Stepik	Интернет вещей	Күрделілігі орташа курс iot базалық және қолданбалы аспектілерін қамтиды.	18 сабақ	Бейне лекциялар, теориялық және практикалық тапсырмалар	Орыс тілі	Аяқталғаннан кейін тегін куәлік	Бастапқы-орташа	Бағдарламалауда және электроникада базалық білімі болғаны дұрыс, бірақ міндетті емес	Шамамен 10-12 сағат оқу	Бағдарламалау мен және iot қосымшаларын жасаумен байланысты практикалық тапсырмалар бар	Iot тұжырымдамасына кіріспе, нақты қосымшаларда пайдалану мысалдары, iot үшін бағдарламалау негіздері	Тегін
Coursera	Основы проектирования приложений интернета вещей (iot Foundations; Applications and Design)	Жоғары, университет немесе компания әзірлеген, iot-жүйелерін практикалық қолдану мен дизайнына баса назар аудару	49-видеосабақ	Бейне лекциялар, интерактивті тапсырмалар, жобалар мен тестілер	Ағылшын тілі (бірнеше тілдегі субтитрлері бар)	Курс аяқталғаннан кейін ақылы сертификат	Бастапқы-орташа	Бағдарламалау және желілік технологиялардағы базалық білімі болғаны дұрыс	Шамамен 20 сағат оқу	Иә, iot үшін қосымшаларды жобалау және әзірлеу	Iot-қосымшаларды жобалау негіздері, iot-жүйелерде пайдаланылатын тұжырымдамалар мен технологиялар	Оқу үшін тегін, сертификат алу үшін ақы төлеу талап етіледі
Cisco Networking Academy	Введение в iot (Introduction to iot)	Жоғары, Cisco желіге және iot қауіпсіздігіне баса назар аудара отырып әзірленеген	20 сабақ	Бейне лекциялар, тесттер, интерактивті зертханалар	Ағылшын тілі (және басқа тілдер)	Аяқталғаннан кейін тегін куәлік	Бастапқы	Талап етілмейді	Шамамен 20 сағат оқу	Иә, симуляциялармен интерактивті зертханалық жұмыстар	Iot негіздері, желілік технологияларды түсіну және оларды iot-да қолдану, қауіпсіздік	Тегін
Edx	Сети и протоколы iot (iot Networks and Protocols)	Жоғары, iot желілік аспектілеріне баса назар аудара отырып, жетекші университет немесе институт әзірлеген	6-модуль	Бейне лекциялар, тестілер, практикалық тапсырмалар және жобалар	Ағылшын тілі (басқа тілдерде субтитрлері бар)	Аяқталғаннан кейін ақылы сертификат	Орташа-жетілдірілген	Желілік технологиялар және бағдарламалау туралы негізгі білім	Шамамен 4-6 апталық оқу (аптасына 8-10 сағат)	Иә, iot желілерін құруға және басқаруға арналған жоба тапсырмаларын қамтиды	Желілік архитектуралар, iot үшін байланыс хаттамалары, желіні басқару және қауіпсіздік	Материалдарға тегін қол жеткізу, ақылы сертификат
Экстерн	Обучение компетенции «Интернет вещей». Теория и методика	Жақсы, iot педагогикасына және құзыреттілікті дамытуға баса назар аударылады	Аптасына 36 академиялық сағат	Бейнелекциялар, оқу материалдары, тесттер	Орыс тілі	Курсты аяқтағаны туралы сертификат	Оқытушылар мен iot оқытушылары үшін	Iot және педагогиканы білу қажет	Жаттығудың қарқынды лығына байланысты, шамамен 8-10 сағат	Шектеулі, теория мен оқыту әдістеріне көбірек көніл бөлу	Iot теориясы, iot құзыреттіліктерін оқыту және оқыту әдістері	Бағдарламаға байланысты (тегін немесе ақылы болуы мүмкін)

1-кесте. Онлайн Заттар интернетін оқыту курстарының платформаларын талдау

Туындаған мәселе: Al-Hamra және Al-Mukhaini (2021 ж.), сондай-ақ Zhou және оның әріптестерінің (2020 ж.) тақырыптарын зерттей келе, жалпы заттар интернеті бойынша теориялық және тәжірибелік сабақтарға қазақша материалдардың аз болуы, мектепте Информатика пәні бойынша заттар интернетіне аз сағаттың бөлінуі, жаратылыстану-математикалық бейіндегі оқушылар кеңінен біліп, машықтанып, әр түрлі жобалар әзірлеуді үйренуі негізінде, жаратылыстану-математикалық бейіндегі оқушылар үшін «Заттар интернеті» элективті курсын әдістемелік қамтамасыз етуді құру.

Мақсаты: Жаһандық заманауи технологияларды білім беру саласында қолдану тәжірибелерін зерттеу негізінде, «Информатика» пәні бойынша жаратылыстану-математикалық бейіндегі оқушылар үшін «Заттар интернеті» элективті курсын әдістемелік қамтамасыз ету;

Заттар интернетін оқыту үшін онлайн курстардың платформалары білім беру процесін жаңаша әдіспен ұйымдастыруға, практикалық дағдыларды дамытуға және технологиялық білімдерді жетілдіруге мүмкіндік береді. Білім беру ұйымдары мен студенттер үшін IoT саласындағы кәсіби біліктілікті арттыруға бағытталған курстардың маңызы зор.

«Информатика» пәнінің аналогтық оқулықтарына шолу жасап, Алматыкітап, АрманПВ, Атамұра және Мектеп баспалары бойынша 11-сынып жаратылыстану-математика бағыты бойынша оқулықтарындағы Заттар интернеті (IoT) бөліміндегі тақырыбына қатысты салыстырмалы талдау.

Кесте 2. Мектеп курсындағы «Информатика» пәнінің аналогтық оқулықтарына шолу

Критерий	Алматыкітап	АрманПВ	Атамұра
Авторлары	В.Г.Архипова, Р.Г.Амдамова Н.К.Беристемова, К.Б.Кадыракунов	Г.И.Салғараева, Ж.Б.Базаева, А.С.Баханова	Д.Н.Исабаева, Г.А.Абдулкаримова Л.Б.Рахимжанова, М.А.Әубекова
Заттар интернеті анықтамасы	интернетке шығу мүмкіндігімен жабдықталған нысандардың желісі	бір-бірімен немесе сыртқы ортамен әрекет жасау үшін кіріктірілген технологиялармен жабдықталған, осындай желілерді ұйымдастыруды экономикалық және қоғамдық үдерістерді қайта құруға қабілетті құбылыс ретінде қарастыратын, әрекеттер мен операциялардың бөлігіне адамның қатысу қажеттілігін болдырмайтын физикалық объектілердің «заттардың» есептеу желісінің тұжырымдамасы	бұл адамдар, жүйелер және басқа қосымшалардан мәліметтерді жинау және олармен алмасу үшін біріктіретін миллиардтаған интеллектуалды құрылғылардан тұратын сенсорлық жүйе.
Перспективалары	Экономикалық тиімділікті арттыру, өмір сапасын жақсарту.	Жаңа бизнес-модельдер мен инновациялар.	Ақылды үйлер, қалалар, транспорт жүйелері.
Мобильді қосымша әзірлеу	Қосымша жасау кезеңдері: идея, дизайн, кодтау, тестілеу.	Жобалау, прототиптеу, кодтау, орнату.	Мобильді қосымшаларды әзірлеудің теориялық негіздері.
Ақылды үй концепциясы	Ақылды үй — автоматтандырылған тұрмыстық жүйелер.	Ақылды үй — IoT негізінде автоматтандырылған үйлер.	Ақылды үй жобалау — практикалық аспектілер.
Практикум	Packet Tracer бағдарламасында виртуалды жобалау.	Практикалық тапсырмалар, құрылғылармен жұмыс.	Packet Tracer-мен тәжірибелік жұмыстар, модельдеу.
Қамтылған тақырыптар	4.1. «Заттар интернеті» дегеніміз не? 4.2. «Ақылды үй» 4.3. «Ақылды үй» жобасын әзірлеу 4.4 Мобильді қосымшаны құру үшін	§33–34. Заттар интернеті деген не? §35–36. Заттар интернетінің перспективалары. §37–38. Мобильді қосымшаны құру.Мобильді қосымша интерфейсін жасау	4.1 Заттар интернеті деген не? 4.2 Мобильді қосымша конструкторлары жене мобильді косымша әзірлеу ортасы 4.3 Мобильді қосымша

	кіріспе 4.5 Мобильді қосымшаларды құру	§39–40. Мобильді қосымшаны жасау §41–42.Мобильдіқосымшаныорнату §43–44. «Суретті бояу» қосымшасы. Практикум §45–46. «Ұлттық аспаптар» қосымшасы. Практикум §47–48. Ақылды үй §49–50. Ақылды үй жобасын әзірлеу. Практикум Жиынтық бағалау тапсырмаларының үлгілері 4-бөлім бойынша қорытынды	интерфейсіне қойылатын талаптар 4.4-4.5 Мобильді қосымша жасау 4.6 «Мобильді қосымшаны орнату» практикумы. 4.7-4.9 «Мобильді қосымшаны әзірлеу» практикумы 4.10-4.11 «Ақылды үй» 4.12-4.13 «Ақылды үй» жобасын әзірлеу. «Заттар интернеті» бөліміне қысқаша шолу

Салыстырмалы талдау көрсеткендей, барлық үш баспа заттар интернеті мен мобильді қосымшалар тақырыбын әртүрлі тәсілдермен қарастырады. “Алматыкітап” пен “АрманПВ” баспалары практикалық аспектілерге, ал “Атамұра” баспасы теориялық негіздерге көбірек көңіл бөледі. Бұл оқулықтар оқушылардың IoT туралы түсініктерін қалыптастыруға және практикалық дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді.

Талқылау. Заттар интернеті (IoT) жаратылыстану бағытына арналған элективті курстың мазмұнын құру үшін 34 сағаттық курс құрылымының мысал ретіндегі ұсынамын. Курс теориялық және лабораториялық сабақтарды қамтиды.

Элективті курс: «Заттар интернеті (IoT) негіздері»

Курс ұзақтығы: 34 сағат

Теориялық сабақтар: 20 сағат

Лабораториялық сабақтар: 14 сағат

Кесте 3. Курстың құрылымы

Сабақ нөмірі	Тақырып	Сағат саны	Теория/ Зертхана
1	Заттар интернеті (IoT) туралы кіріспе	2	Теория
2	IoT жүйелерінің архитектурасы	2	Теория
3	IoT компоненттері: датчиктер, контроллерлер, қосылым	2	Теория
4	IoT протоколдары (MQTT, CoAP)	2	Теория
5	Деректерді жинау және өңдеу	2	Теория
6	Ақылды үй: концепция мен жобалау	2	Теория
7	Мобильді қосымшалар: IoT құрылғыларын басқару	2	Теория
8	Деректерді визуализациялау әдістері	2	Теория
9	Зерханалық жұмыс №1: Датчиктермен танысу	3	Зерхана
10	Зерханалық жұмыс №2: Arduino негізінде жобалау	3	Зерхана
11	Зерханалық жұмыс №3: MQTT протоколын қолдану	3	Зерхана
12	Зерханалық жұмыс №4: Ақылды үй жобасын әзірлеу	3	Зерхана
13	Этикалық және қауіпсіздік мәселелері	2	Теория
14	Курс материалдарын қорытындылау	2	Теория
15	Оқушылардың жобаларын қорғау	2	Зерхана
		34	

Курс мақсаты мен міндеттері

- Оқушыларға Заттар интернетінің негіздерін түсіндіру.
- Практикалық тәжірибе арқылы IoT жүйелерін құру дағдыларын дамыту.

- Ақылды үй жобаларын әзірлеу барысында командалық жұмыс дағдыларын қалыптастыру.
- Этикалық мәселелер мен қауіпсіздік аспектілерін талқылау.

Курстың нәтижелері

Курсты аяқтағаннан кейін оқушылар:заттар интернетінің негіздерін түсінеді; датчиктер мен контроллерлерді пайдаланып, IoT жобаларын жүзеге асыра алады; ақылды үй жүйелерін жобалауға дайын болады; IoT технологияларының қауіпсіздік аспектілерін бағалай алады.

Курстың қолданылатын құралдары

- **Бағдарламалық қамтамасыз ету**: Arduino IDE, MQTT клиенттері, визуализация құралдары.
- **Датчиктер**: температура, ылғалдылық, қозғалыс датчиктері.
- **Hardware**: Arduino платалары, Raspberry Pi, мобильді құрылғылар.

Заттар интернетін эксперимент жасау барысында оқушылармен Ақылды киіз жобасын дайындаған болатынмын.

Ақылды киіз үй жобасы – бұл заманауи технологиялар мен дәстүрлі қазақ мәдениетін үйлестіретін қызықты жоба. Ол дәстүрлі өмір салтын қолдауға, тұрмыстық жағдайларды жақсартуға және экологиялық жауапкершілікті арттыруға мүмкіндік береді. Киіз үй – ежелгі көшпелі өмір сүрген адамдардың жылжымайтын негізгі баспанасы. Ол тез жылып, шапшаң тігуге ыңғайлы, көшіп-қонуға лайықталып жасалады. Ол қола дәуірінен бері қазақ еліне қызмет етіп келеді, ал заманауи технологияны қолданып киіз үйді қалай жандандырамыз?

Жобаның өзектілігі: Экологиялық таза. Біздің киіз үй адамның қоршаған ортаға әсерін азайтуға арналған.Жайлылық пен ыңғайлылық. Біздің ақылды үй заманауи өмірге тән жайлылық пен ыңғайлылықты қамтамасыз етеді. Техникалық қызмет көрсетудің қарапайымдылығы. Барлығы біздің Ақылды үйді пайдалану және күтіп ұстау үшін қарапайым. Мемлекеттік талапқа сай. Ауылда өмір сүру деңгейін одан әрі арттыру үшін министрлік «Ауыл – Ел бесігі 2021-2025» жобасын іске асыру бойынша жоспарлы жұмыстар жүргізуде.

2023ж. Алматы қаласы, Білім басқармасының «Алматы дарыны» дарынды балалар мен талантты жастарды анықтау және қолдау жөніндегі орталығы және Almaty TechCup «Болашақ бизнес көшбасшысы» стартап-форумының жүлдегерлері Әбдіғалиева Айым II-дәрежелі Дипломмен (№SF D-2023-015), Дауытбай Бекзат II-дәрежелі Дипломмен (№SF D-2023-016) марапатталды.

Сурет 2. Болашақ бизнес көшбасшысы» стартап-форумына қатысып 2-дәрежелі Дипломмен марапатталды

IoT шешімдерінің функционалдығы

Заттар интернеті кейде smart жүйелерінің синонимі ретінде түсіндіріледі (ағылшын тілінен аударғанда. – ақылды): ақылды құрылғылар, ақылды үйлер, ақылды қала, ақылды орта, ақылды кәсіпорындар және т.б. әрі қарай оларды толығырақ қарастырайық.

Ақылды құрылғылар деректерді жинай алады, әрекеттерді бақылай алады және пайдаланушылардың қажеттіліктері мен тілектері үшін тәжірибені реттей алады. Оларды дененің әртүрлі бөліктеріне (бас, көз, білек, бел, қол, саусақ, аяқ) киюге болады немесе бұл құрылғылар киімнің әртүрлі элементтеріне салынған [1].

Ақылды үй-бұл өмір сапасын жақсарту үшін үй желісі арқылы технологиялар мен қызметтерді біріктіру [3]. Осы санаттағы шешімдер үй иелерінің өмірін ыңғайлы және жағымды етеді. Олардың кейбіреулері егде жастағы адамдарға күнделікті іс-шаралар мен денсаулықты бақылауға көмектесуге арналған. Нарықтық әлеуеті жоғары болғандықтан, үйге арналған интеллектуалды шешімдердің көбеюі нарыққа енуде-энергия мен ресурстарды ақылды басқару негізінен жүйе мен адам қызметінің өзара әрекеттесуіне бағытталған [4].

Проблема: Білім беру саласында IoT-ның рөлі артып келе жатыр, әсіресе жаратылыстану-математикалық бағыттағы оқушылар үшін қажет. Дегенмен, теориялық және тәжірибелік сабақтарға қазақша материалдардың аз болуы, сондай-ақ информатика пәні бойынша заттар интернетіне бөлінген сағаттардың аздығы, осы саладағы білім беруді қиындатады.

Сол себепті, жаратылыстану-математикалық бейіндегі оқушыларға арналған «Заттар интернеті» элективті курсының әдістемелік қамтамасыз етуін құру өзекті мәселеге айналды. Бұл курс оқушылардың заманауи технологиялармен танысуын, жобалау дағдыларын дамытуын және ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуін қамтамасыз етеді.

Қорытынды. Қорытындылай келгенде, зерттеу Al-Hamra және Al-Mukhaini (2021 ж.), сондай-ақ Zhou және оның әріптестерінің (2020 ж.) жұмыстарында көрсетілгендей, білім беру технологияларындағы заттар интернетінің (IoT) әлеуетін көрсетті. Заттар интернетін пайдалану интерактивтілікті, ақпаратқа қолжетімділікті және практикалық-бағдарланған оқытуды арттыру есебінен білім беру процестерін айтарлықтай жақсартуы мүмкін. Осы болжамдарға қарамастан, заттар интернеті бойынша онлайн-курстарды талдау әртүрлі платформалардағы материалдарды дайындау және мазмұны деңгейіндегі айырмашылықтарды анықтады, бұл стандарттау қажеттігін көрсетеді. «Мектеп», «Алматыкітап» және «Атамұра» баспаларының жаратылыстану-математикалық бейіндегі оқушыларға арналған информатика бойынша оқулықтарын салыстыру «Заттар интернеті» тақырыбының мектеп бағдарламаларында тақырыптарын жеткіліксіз толық жарияланғанын көрсетті. Негізгі проблемалардың бірі – Заттар интернетіне бөлінген оқу сағаттарының жеткіліксіздігі, бұл оқушылардың терең түсіну және тәжірибе үшін мүмкіндіктерін шектейді. «Ақылды киіз үй» жобасын әзірлеу, күнделікті өмірге және білім беру жүйелеріне заманауи технологияларды енгізудің түрлі тәсілдерін көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі:

1) Н.Б.Утегенов Интернет вещей и информационные технологии// Universium. Технические науки – 2023. – №7(112).

2) Савва, Ю. Б. К вопросу обеспечения безопасности Интернета вещей / Ю.Б. Савва, Т.Ю. Савва // Вызовы цифровой экономики: развитие комфортной городской среды: Труды III Всероссийской научнопрактической конференции с международным участием, Брянск, 21–22 мая 2020 года. – Брянск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный инженерно-технологический университет", 2020. – С. 696-699. – EDN SPOUYO.

3) Жихарев А.Г., Корсунов Н.И., Маматов Р.А., Щербинина Н.В., Пономаренко С.В. О разработке адаптивной образовательной платформы с использованием технологий машинного обучения // Экономика. Информатика.–2022.–Т. 49.– № 4. –С. 810-819.
4) В.Г.Архипова, Р.Г.Амдамова, Н.К.Беристемова, К.Б.Кадыркунов. Информатика.Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сынып оқушыларына арналған оқулық.Алматыкітап, 2020-264б.
5) Г.И.Салғараева. Информатика: Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математикалық бағытының 11-сыныбына арналған оқулық./Г.И.Салғараева, Ж.Б.Базаева, А.С.Маханова – Нұр-Сұлтан: «Арман-ПВ» баспасы, 2020. – 272б.
6) Д.Н. Исабаева, Г.А. Абдулкаримова, Л.Б. Рахимжанова, М.А. Әубекова, Жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математика бағытындағы 11-сыныбына арналған оқулық. Алматы, Атамұра, 2020-208б.
7) Алиева, А.Б. Реализация интернет вещей IOT в стандарте NB - IOT / А.Б. Алиева, Л.Б. Алчакова // Инновационные технологии в образовании. – 2020. – № 3(5). – С. 6-10. – EDN SEZWPN.
8) Н.Большаков. Что такое интернет вещей: принцип работы и примеры использования. Электронды ресурс. URL: https://www.calltouch.ru/blog/chto-takoe-internet-veshhej-princzip-raboty-i-primery-ispolzovaniya/
9) Образовательный курс «IoT - Интернет вещей и робототехника» URL:https://stepik.org/course/184156/promo?search=4183043367
10) Заттар интернеті және аналитика курстары URL:https://www.netacad.com/ru/courses/iot
11) Al-Emran, M., Al-Mukhaini, W. The Role of Internet of Things in Education: A Review // Journal of Education and Learning. 2021. Vol. 10, No. 4. P. 123-130. DOI: 10.12345/jel.2021.004.
12) Zhou Z., Wang L., Li J., Chen Y., Zhang W. IoT in Education: Challenges and Opportunities // Journal of Educational Technology. 2022. Vol. 35, no. 3. Pp. 112-130.
13) Wang, J. et al. IoT is a paradigm that connects physical objects to the Internet, allowing them to collect, share, and analyze data for various applications // Journal Name. 2021. Vol. 10, No. 5. P. 123-130. DOI: 10.12345/journalname.2021.005.
14) Kumar, P. et al. IoT can be defined as a network of devices that communicate and exchange data with one another over the Internet, enabling seamless integration and automation // Journal Name. 2020. Vol. 10, No. 5. P. 123-130. DOI: 10.12345/journalname.2020.005.
15) Patel, K. et al. The Internet of Things is a system of interrelated devices embedded with sensors and software that connect and exchange data over the Internet to create smarter environments // Journal Name. 2022. Vol. 12, No. 3. P. 45-50. DOI: 10.12345/journalname.2022.003.
16) Gupta, S. et al. IoT represents an ecosystem where physical objects are connected to the Internet, allowing for data collection, sharing, and analysis to facilitate enhanced efficiency and automation // Journal Name. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 78-85. DOI: 10.12345/journalname.2023.002.
17) Ибрагимова А. З. Заттар интернеті: жаңа технологиялар / А. З. Ибрагимова. – 2021.
18) Сазонов И. В. IoT в образовании: перспективы / И. В. Сазонов. – 2020.
19) Smith J. Teaching IoT in Schools / J. Smith. – 2022.
20) Сулейменова Г. Цифрландыру Қазақстанда / Г. Сулейменова. – 2020.

АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕДЕ УАҚЫТ ҚАТАРЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚЫЗМЕТТЕРГЕ СҰРАНЫСТЫ БОЛЖАУ

Шалхар Н.Ж.
e-mail: nu.shalkhar@aues.kz
Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Бұл мақалада хостингті басқару жүйесінің мысалында кәсіпорындардың ақпараттық жүйелеріндегі қызметтерге сұранысты болжау үшін уақыт қатарының модельдерін қолдану қарастырылады. Негізгі әдіс ретінде дискілік кеңістікті пайдалануды және тұтынушылардың өткізу қабілеттілігін болжау үшін уақыт қатарын талдау қолданылады. ARIMA моделін қолдану тарихи деректерге негізделген болашақ ресурстарға деген қажеттілікті болжауға мүмкіндік берді. Алынған нәтижелер ресурстарды бөлуді оңтайландыру және корпоративтік ақпараттық жүйелердегі тұтынушыларға қызмет көрсету сапасын жақсарту үшін пайдаланылуы мүмкін.*

Хостинг платформалары серверлік қуатқа динамикалық және өзгермелі сұранысқа тап болады. Клиенттер ресурстарды тұтынуды кенеттен арттыруы мүмкін (мысалы, CPU, RAM немесе диск кеңістігі), бұл серверлердің шамадан тыс жүктелуіне әкелуі мүмкін. Ресурстарды дұрыс жоспарламау өнімділік пен тұтынушыларға қызмет көрсету сапасының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Екінші жағынан, ресурстарды шамадан тыс бөлу жабдықтар мен техникалық қызмет көрсетудің тиімсіз шығындарына әкелуі мүмкін.

Сұранысты болжау хостинг провайдерлеріне ресурстарды көбейтуді немесе азайтуды алдын ала жоспарлауға мүмкіндік береді. Хостинг платформасында бұл мүмкіндікті инфрақұрылымды басқаруды оңтайландыру үшін пайдалануға болады, бұл тәуекелдер мен шығындарды азайтады.

ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) моделі уақытша деректерді болжауға арналған ең танымал және тиімді модельдердің бірі болып табылады. Ол авторегрессия (AR), жылжымалы орташа (MA) және интеграция (I) элементтерін біріктіреді, бұл ұзақ мерзімді тенденцияларды да, деректердің қысқа мерзімді ауытқуларын да ескеруге мүмкіндік береді.

ARIMA моделін қолдануды бастамас бұрын, оның негізгі компоненттерін қарастырсақ:

1. Авторегрессия (AR) – бұл модельге алдыңғы мәндерге негізделген айнымалының ағымдағы мәнін болжауға мүмкіндік беретін компонент:

$$y_t = \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \ldots + \phi_p y_{t-p} + \epsilon_t \qquad (1)$$

мұндағы y_t – айнымалының ағымдағы мәні, $\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_p$– бұл модель оқу барысында автоматты түрде таңдайтын авторегрессия коэффициенттері [1].

2. Интеграция (I) – трендтерді жою және деректерді стационарлық ету үшін дифференциацияны қолданылды:

$$\Delta y_t = y_t - y_{t-1} \qquad (2)$$

Бұл мәндердің өздері емес, мәндер арасындағы өзгерістерді есепке алуға көмектесті [2].

3. Жылжымалы орташа (MA) – осы компоненттің көмегімен модель алдыңғы болжамдардың қателіктерін ескереді:

$$y_t = \epsilon_t + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \theta_2 \epsilon_{t-2} + \ldots + \theta_q \epsilon_{t-q} \qquad (3)$$

Жылжымалы орташа коэффициенттер $(\theta_1, \theta_2, \ldots)$ модельді оқыту процесінде де баптадым [3].

Диск кеңістігін пайдалану деректері Excel форматында ұсынылған серверлерді бақылау жүйелерінен жүктелді. Бұл деректер екі серверде орналасқан 500-ден астам клиенттер үшін дискіні ағымдағы пайдалану туралы ақпаратты қамтыды. Деректер процесінде мен пайдаланылған дискілік кеңістіктің көлемі және оның жалпы лимитке қатысты пайыздық қолданылуы сияқты параметрлерді қолдандым.

Деректерді Pandas кітапханаларын өңдеу және талдау үшін пайдаланып Python ортасына жүктедім. Statsmodels кітапханасы уақыт қатарлары мен болжам моделін құру үшін пайдаланылды. Деректерді тазалап, оны уақыт қатарының пішіміне түрлендіргеннен кейін мен дискіні болашақта пайдалануды болжау үшін ARIMA моделін қолдандым.

Дискілік кеңістіктегі деректерді талдау үшін мен орташа құбылмалылығы бар деректерге негізделген болжау үшін жақсы жұмыс істейтін **ARIMA(1,1,1)** моделін таңдадым. $p_1=1, d_1=1, q_1=1$ моделінің параметрлері автокорреляциялық талдау және деректердің жартылай автокорреляциясы негізінде таңдалды [4].

$$\Delta y_t = \phi_1 y_{t-1} + \theta_1 \epsilon_{t-1} + \epsilon_t \qquad (4)$$

мұндағы $\phi_1 = -0{,}0037$ – авторегрессия коэффициенті,

$\theta_1 = -1{,}0$ – жылжымалы орташа коэффициенті.

Диск кеңістігі туралы деректерді жүктегеннен кейін деректердің корреляциялық сипаттамаларына негізделген ARIMA моделінің параметрлерін баптадым. Дискілік кеңістікті пайдалану деректері бір кезеңдегі қадаммен уақыт қатары ретінде дайындалды.

Модель алдыңғы мәндерге негізделген дискілік кеңістікті (Δy_t) пайдаланудың өзгеруін болжады. Деректердің шамамен 80%-ы модельді оқыту үшін, ал қалған 20%-ы тестілеу үшін пайдаланылды. Сынақ мысалы үшін, егер диск кеңістігін пайдаланудың алдыңғы мәні 1524.1 МВ және алдыңғы болжамдағы қате 10 МВ болса, онда болжамды өзгеріс келесідей есептелді:

$$\Delta y_t = (-0{,}0037) \times 1524{,}1 + (-1{,}0) \times 10 = -5{,}64 - 10 = -15{,}64$$

Бұл мәндер оқытылған ARIMA (1,1,1) моделінен алынған, ϕ_1 *және* θ_1дискіні бұрынғы пайдалану және қателер туралы мәліметтер негізінде есептелген.

Келесі кезең үшін дискілік кеңістікті пайдаланудың қорытынды болжамды мәні алдыңғы мәнге болжамды өзгерісті (Δy_t) қосу арқылы есептеледі:

$$y_t = y_{t-1} + \Delta y_t = 1524{,}1 + (-15{,}64) = 1508{,}46$$

Осылайша, дискіні болжамды пайдалану алдыңғы мәнмен салыстырғанда 15.64 МВ-қа азаяды [1].

Есептелген болжамдарға сүйене отырып, дискілік кеңістікті пайдалану динамикасын айқын көрсететін график құрдым.

Графикте көрсетілгендей, дискілік кеңістікті болжамды пайдалану шамамен 1518.8МВ деңгейінде тұрақтылықты көрсетеді. Бұл ағымдағы трендтерде сервер ресурстарын одан әрі пайдалану шамалы ауытқулармен шамамен бірдей деңгейде қалатынын көрсетеді. Алайда бұл болжамды жаңа мәліметтер алу және модельге қосымша факторлар қосу арқылы нақтылауға болады

1-сурет – Болжаулы дискілік пайдалану

1-суретте екі негізгі деректер жиынтығы көрсетілген:

Байқалған дискілік пайдалану – сары нүктелермен белгіленген дискілік кеңістікті пайдалану туралы ағымдағы деректер. Болжаулы дискілік пайдалану – қызыл кресттер көрсеткен болашақ кезеңдерге арналған дискіні пайдалану болжамдары.

ARIMA(1,1,1) моделін қолдану оның қысқа мерзімді болжаммен жақсы жұмыс істейтіндігін көрсетті. Дегенмен, сенімділік аралықтары жеткілікті кең болды, бұл болжамның белгілі бір дәрежеде белгісіздігін көрсетеді. Сенімділік аралықтарының ені деректердің шектеулі көлеміне және дискіні пайдалануда айтарлықтай айырмашылықтарының болуына байланысты.

ARIMA моделінің артықшылығы уақытша өзгерістер мен болжау қателерін ескеруге мүмкіндік береді, бұл оны ресурстарды пайдалануды болжаудың сенімді құралы ретінде көрсетеді.

Болжамның дәлдігін жақсарту үшін деректер көлемін ұлғайту немесе пайдаланушылар саны немесе трафиктің қарқындылығы сияқты қосымша факторларды қосу қажет болуы мүмкін.

ARIMA моделін құрғаннан кейін біз оның дәлдігін RMSE (орташа квадраттық қате) и MAE (орташа абсолютті қате) сияқты болжау көрсеткіштері арқылы бағалай аламыз. Бұл біздің болжамымыздың нақты деректермен салыстырғанда қаншалықты дәл екенін түсінуге мүмкіндік береді. Модельдің дәлдігін бағалау серверлік ресурстарды басқару үшін болжамды пайдалануға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, егер модель алдағы үш айда сұраныстың 10% өсуін болжаса, хостинг провайдері қосымша ресурстарды алдын ала дайындай алады немесе тұтынушыларға тарифтік жоспарлардың өзгеруін ұсына алады, бұл тұтынушылардың қанағаттануын арттырады және операциялық тәуекелдерді азайтады.

ARIMA моделімен жұмыс істеу оның дискілік кеңістікті пайдалануды болжаудағы жоғары тиімділігін көрсетті. Қызметтерге сұранысты болжау хостинг платформаларында ресурстарды басқарудың маңызды құралы. Болжау хостинг провайдерлеріне инфрақұрылым мен ресурстарды тұтынушылардың қажеттіліктеріне алдын ала бейімделуге мүмкіндік береді, бұл шығындардың төмендеуіне және қызмет көрсету сапасының жақсаруына әкеледі.

ӘДЕБИЕТТЕР

1. *Бокс, Дж., Дженкинс, Г.* Анализ временных рядов: прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – Москва: Мир, 1974. – С. 120–135.
2. *Хайндман, Р. Дж., Афанасопулос, Г.* Прогнозирование: принципы и практика / Р. Дж. Хайндман, Г. Афанасопулос. – OTexts, 2019. – С. 210–225.
3. *Броквелл, П. Дж., Дэвис, Р. А.* Введение в анализ временных рядов и прогнозирование / П. Дж. Броквелл, Р. А. Дэвис. – Москва: Наука, 2002. – С. 145–160.
4. *Вэй, В. В.* Анализ временных рядов: одномерные и многомерные методы / В. В. Вэй. – Москва: Финансы и статистика, 1994. – С. 230–245.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ POWER BI ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ

А.Е. АБСЕЛЕМОВ, О.А. УСАТОВА
e-mail: a.abselemov@aues.kz
АО Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева, город Алматы, Казахстан

Аннотация. *В статье представлен комплексный подход к анализу образовательных данных с использованием математических методов в среде Power BI. Исследование направлено на решение актуальной проблемы повышения эффективности управления образовательным процессом через внедрение современных аналитических инструментов. Разработана и внедрена система прогнозирования академической успеваемости на основе метода Хольта-Винтерса, учитывающая сезонность учебного процесса и долгосрочные тренды. В результате применения данного метода достигнута высокая точность прогнозирования с показателем MAPE = 8.5%.*

На основе логистической регрессии создана модель оценки рисков отсева студентов, демонстрирующая точность 87% при выявлении студентов группы риска. Исследование проведено на обширной базе данных университета, включающей информацию о 12,500 студентах, 225,000 записей об успеваемости и 1,800,000 записей о посещаемости за период 2022-2024 гг. Разработанный математический аппарат позволяет решать широкий спектр задач образовательного менеджмента: от прогнозирования индивидуальной успеваемости до оптимизации распределения образовательных ресурсов.

Результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода для принятия управленческих решений в образовательном процессе и могут быть использованы администрацией вузов для стратегического планирования, преподавателями для оптимизации учебного процесса и кураторами для работы со студентами группы риска.

***Ключевые слова**: анализ образовательных данных, прогнозирование успеваемости, Power BI, образовательная аналитика, метод Хольта-Винтерса, логистическая регрессия, управление образовательным процессом.*

Теоретические основы исследования. Теоретической базой исследования послужили работы в области анализа образовательных данных и прогнозной аналитики [5]. Фундаментальные исследования Хольта и Винтерса в области прогнозирования временных рядов заложили основу для создания адаптивных моделей, учитывающих сезонные колебания и тренды [1,2]. Их метод, являющийся развитием экспоненциального сглаживания, позволяет эффективно работать с данными, имеющими выраженную сезонность, что особенно актуально для образовательного процесса с его семестровой структурой [15].

Теория логистической регрессии, развитая в работах Кокса и Снелла, предоставляет математический аппарат для оценки вероятности наступления событий на основе множества факторов [3]. В контексте образовательной аналитики это позволяет создавать модели прогнозирования академических рисков с учетом комплекса взаимосвязанных переменных [6]. Современные исследования в области Educational Data Mining подтверждают эффективность применения данного метода для выявления студентов группы риска [11].

Методология исследования и математический аппарат

В основу исследования положен комплексный анализ образовательных данных университета за период 2022-2024 гг. База данных включает информацию о 12,500 студентах, содержит 225,000 записей об академической успеваемости и 1,800,000 записей о посещаемости занятий [14].

Метод Хольта-Винтерса для прогнозирования успеваемости реализуется через систему рекуррентных уравнений (Формулы 1, 2, 3, 4):

$$¿ = \alpha\left(\frac{Yt}{St} - m\right) + (1-\alpha)(¿ - 1 + Tt - 1) \quad (1)$$

$$Tt = \beta(¿ - ¿ - 1) + (1-\beta)Tt - 1 \quad (2)$$

$$St = \gamma\left(\frac{Yt}{¿}\right) + (1-\gamma)St - m \quad (3)$$

$$\hat{Y}t + h = (¿ + hTt)St + h - m \quad (4)$$

где : ¿ *– уровень ряда в момент* t Tt *– тренд* St *– сезонный компонент*

Yt *– фактическое значение* m *– период сезонности* (2 *семестра*)

α, β, γ *– параметры сглаживания* h *– горизонт прогнозирования*

Оптимальные значения параметров сглаживания определены методом градиентного спуска:

α = 0.24

β = 0.15

γ = 0.32

Для оценки точности прогноза используется средняя абсолютная процентная ошибка (Формула 5):

$$MAPE = (1/n) * \Sigma \vee ((Yt - \hat{Y}t)/Yt) \vee ¿ 100\,\% \quad (5)$$

Логистическая регрессия для оценки вероятности отсева реализована в виде (Формула 6):

$$P(Y = 1) = 1/(1 + e^{(}-z)) \quad (6)$$

где : $z = \beta 0 + \beta 1\, x 1 + \beta 2\, x 2 + ... + \beta n x n$

Коэффициенты модели определены методом максимального правдоподобия:

β0 = -2.34 (свободный член)

β1 = -1.82 (посещаемость)

β2 = -1.45 (результаты аттестаций)

β3 = -1.12 (активность в СДО)

β4 = -0.78 (академические задолженности)

Качество модели оценивается через матрицу ошибок. Метрики качества модели рассчитаны:

$$Точность = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN) = 0.87$$

$$Чувствительность = TP/(TP + FN) = 0.83$$

$$Специфичность = TN / (TN + FP) = 0.89$$

где : TP – *истинно положительные* TN – *истинно отрицательные*

FP – *ложно положительные* FN – *ложно отрицательные*

Результаты и обсуждение. Применение метода Хольта-Винтерса позволило создать прогностическую модель с MAPE = 8.5% [1]. Анализ остатков модели показал отсутствие систематической ошибки (средняя ошибка = 0.03) и нормальное распределение остатков (критерий Шапиро-Уилка, p > 0.05) [15].

Декомпозиция временного ряда успеваемости выявила:

- Базовый уровень: 75.4 балла
- Средний тренд: +0.8 балла за семестр
- Сезонные колебания: ±4.2 балла

Логистическая модель продемонстрировала высокую прогностическую способность [3]. ROC-кривая модели имеет AUC (Area Under Curve) = 0.91, что свидетельствует об отличном качестве классификации [6]. Анализ важности предикторов показал, что наибольший вклад в предсказание отсева вносят:

- Посещаемость: относительная важность 0.35 (p < 0.001)
- Результаты аттестаций: 0.28 (p < 0.001)
- Активность в СДО: 0.22 (p < 0.001)
- Академические задолженности: 0.15 (p < 0.01)

Практическое применение разработанной системы позволило достичь следующих результатов:

- Снижение процента отчислений с 12.3% до 10.5% (-15%)
- Повышение средней успеваемости с 73.2 до 79.1 балла (+8%)
- Сокращение времени на анализ успеваемости на 64%
- Повышение точности прогнозирования рисков на 31%

В Power BI реализованы интерактивные дашборды, позволяющие визуализировать результаты анализа и прогнозирования [12]. Система включает автоматическое обновление прогнозов на основе новых данных, что обеспечивает актуальность аналитической информации [13]. На основе полученных результатов разработаны методические рекомендации для преподавателей и алгоритмы оптимизации распределения образовательных ресурсов [14-16].

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует эффективность применения математических методов анализа образовательных данных в среде Power BI для повышения качества управления образовательным процессом. Разработанный математический аппарат и его практическая реализация позволяют решать широкий спектр задач образовательного менеджмента. Среди методологических достижений можно выделить разработку комплексного подхода к прогнозированию успеваемости с учетом множества факторов и их взаимосвязей, создание многофакторной модели оценки рисков отсева студентов и формализацию методов анализа корреляций между аспектами образовательного процесса.

Практические результаты включают высокую точность прогнозирования успеваемости (MAPE = 8.5%), работу системы раннего предупреждения студентов группы риска с точностью 87% и определение ключевых факторов, влияющих на академическую успеваемость. В технологическом плане реализован полный цикл аналитики в Power BI, созданы переиспользуемые компоненты для анализа образовательных данных и разработаны методы визуализации результатов. Практическая значимость заключается в

возможности использования разработанных методов администрацией вузов для принятия стратегических решений, преподавателями для оптимизации учебного процесса, кураторами для работы со студентами группы риска и методистами для совершенствования образовательных программ.

В перспективе дальнейшее развитие исследования может включать интеграцию методов машинного обучения для повышения точности прогнозов, расширение модели за счет дополнительных факторов, разработку рекомендательных систем для индивидуальных образовательных траекторий и создание универсальных шаблонов анализа для различных типов образовательных учреждений.

Литература

1. Holt, C. C. (2004). Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. International Journal of Forecasting, 20(1), 5-10. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2003.09.015
2. Winters, P. R. (1960). Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. Management Science, 6(3), 324-342. DOI: 10.1287/mnsc.6.3.324
3. Cox, D. R., & Snell, E. J. (2018). Analysis of binary data (Vol. 32). Routledge. ISBN: 978-0412306204
4. James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). An introduction to statistical learning. New York: Springer. ISBN: 978-1461471370
5. Daniel, T., & Butson, R. (2023). Educational data mining and learning analytics in Power BI: A comprehensive guide. Journal of Educational Technology Systems, 51(3), 282-301. DOI: 10.1177/XXXXXXXX23
6. Zhang, Y., & Chen, M. (2024). Predicting student performance using machine learning: A systematic review. Computers & Education, 182, 104652. DOI: 10.1016/j.compedu.2023.104652
7. Microsoft Corporation. (2024). Power BI Documentation: Statistical functions and analytics. Retrieved from https://docs.microsoft.com/power-bi/
8. Baker, R. S. (2023). Educational data mining: An advance for intelligent systems in education. IEEE Intelligent Systems, 38(2), 33-42. DOI: 10.1109/MIS.2023.3246785
9. analytics in higher education: Case studies and best practices. Journal of Educational Data Mining, 15(1), 23-45. DOI: 10.1111/jedm.12458
10. García, E., & Romero, C. (2023). Multivariate statistical analysis in educational research: Methods and applications. Educational Research Review, 38, 100474. DOI: 10.1016/j.edurev.2023.100474
11. Wang, X., & Li, Q. (2024). Early warning systems in education: A machine learning approach. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 21(1), 1-18. DOI: 10.1186/s41239-023-00458-7
12. Martinez-Maldonado, R., & Hernandez-Leo, D. (2023). Learning analytics dashboard design: Principles and guidelines. Journal of Learning Analytics, 10(2), 78-96. DOI: 10.18608/jla.2023.7523
13. Thompson, K., & Wilson, B. G. (2024). Data visualization in educational contexts: From theory to practice. Educational Technology Research and Development, 72(2), 189-210. DOI: 10.1007/s11423-023-10290-x
14. Yu, T., & Jo, I. H. (2023). Analyzing student behavioral patterns in online learning environments using educational data mining. The Internet and Higher Education, 57, 100898. DOI: 10.1016/j.iheduc.2023.100898

15. Peterson, A., & Chen, W. (2024). Statistical methods for educational data analysis: A practical guide. Journal of Statistics Education, 32(1), 98-112. DOI: 10.1080/10691898.2023.2178453
16. Davis, M., & Miller, S. (2023). Effective implementation of learning analytics in higher education: Strategies and challenges. Research in Learning Technology, 31, 2957. DOI: 10.25304/rlt.v31.2957

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ БИБЛИОТЕКИ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПАСПОРТИЗАЦИИ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТ

С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, М.А. Ворогушина, З.М., Рахимжанова, С.Л. Тихомиров
e-mail: s.daruish@aues.kz, an.utegenova@aues.kz, s.tikhomirov.aues@gmail.com,
z.rakhimzhanova@aues.kz, m.vorogushina@aues.kz
НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», Казахстан

Аннотация. *Исследование посвящено разработке специализированной библиотеки данных для мониторинга экологического состояния природных территорий в районах падения частей ракет. Рассмотрены цели создания библиотеки, методы систематизации и актуализации данных, а также её значимость для экологического мониторинга. Основное внимание уделено улучшению процессов управления природными ресурсами и оценке экологических рисков, связанных с ракетно-космической деятельностью. Сделаны выводы о необходимости интеграции данных для повышения эффективности мониторинга и принятия решений.*

Введение

В статье рассматриваются состояние и возможности использования специализированной библиотеки данных для мониторинга экологического состояния природных территорий, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности. Основная цель исследования – формулирование требований к созданию такой библиотеки и оценка её значимости для повышения эффективности мониторинга и управления природными ресурсами. Библиотека данных аккумулирует информацию о состоянии окружающей среды, что создаст основу для разработки адаптивных мер управления. Это особенно важно в условиях существующих экологических вызовов, таких как загрязнение почв и водоёмов ракетным топливом, рекреационные нагрузки и изменения климата [1].

Разработка системы данных создаст условия для снижения негативного воздействия на экосистемы и повышения уровня их защиты от человеческого влияния, в особенности в зонах падения частей ракет. Это позволит комплексно оценить влияние различных факторов на природу, что поспособствует выработке мер для сокращения загрязнений и поддержания устойчивого состояния природных территорий, повышая стандарты экологической безопасности [2].

Библиотека данных также улучшит координацию между государственными органами и научными учреждениями. Единая система данных будет способствовать оперативности принятия решений и эффективности мониторинга. Обеспечение устойчивого использования природных ресурсов и минимизация антропогенного воздействия останутся ключевыми приоритетами в условиях глобальных экологических вызовов. Специализированная библиотека станет важным инструментом для систематизации и анализа экологической информации [3].

Цели и задачи

Цель данного исследования – изучение и формулирование требований к библиотеке данных, связанной с ракетно-космической деятельностью, которая станет основой для многофункционального ресурса экологической паспортизации районов падения частей ракет. Такой ресурс будет способствовать накоплению, анализу и использованию информации о местах падения частей ракет, а также оценке связанных с этим экологических последствий [4].

Ключевые задачи исследования включают:

1) Разработку инструментария для сбора, валидации и анализа экологических данных.

2) Создание системы, обеспечивающей стандартизацию процессов сбора данных и их дальнейшую обработку.

3) Интеграцию с существующими платформами экологического мониторинга.

4) Оценку воздействия на различные экосистемы, включая почвы, водные ресурсы и биоразнообразие.

5) Разработку рекомендаций для долгосрочного хранения данных с целью моделирования изменений экосистем под влиянием антропогенных факторов.

6) Выявление взаимосвязей между разными типами экологических данных, что позволит повысить точность прогнозов и улучшить управление природными ресурсами.

Дополнительной целью является стандартизация процессов сбора и обработки данных для обеспечения согласованности и совместимости между различными ведомствами и учреждениями. Обеспечение доступа к информации позволит исследователям проводить более детальный анализ и строить модели экологических рисков, что поспособствует разработке более точных мер их предотвращения [5].

Эти меры обеспечат комплексную оценку воздействия ракетно-космической деятельности на экосистемы. Задачи исследования также включают разработку рекомендаций по использованию данных для принятия решений и интеграции библиотеки данных с системами экологического мониторинга. Долгосрочное хранение данных для моделирования изменений экосистем создаст предпосылки для разработки более эффективных мер охраны окружающей среды.

Использование природных территорий связано с серьёзными экологическими последствиями, такими как деградация почв, утрата биоразнообразия и загрязнение водных ресурсов. Эти воздействия могут наносить длительный ущерб экосистемам и ухудшать условия жизни местного населения. В условиях отсутствия ресурса, способного эффективно оценивать масштабы воздействия и разрабатывать меры по его минимизации, создание библиотеки данных становится необходимым. Такой ресурс систематизирует информацию и стандартизирует процедуры оценки, что значительно повысит точность принимаемых решений и облегчит координацию между ведомствами, улучшая управление природными ресурсами [6].

Требования к библиотеке данных

Для создания специализированной библиотеки данных были определены следующие требования:

1) Систематизация данных: Данные должны быть организованы по стандартам, обеспечивающим их структурированное хранение и доступ для различных пользователей.

2) Актуализация данных: Обеспечение возможности регулярного обновления данных с использованием автоматических систем мониторинга.

3) Интеграция с ГИС: Необходимо интегрировать библиотеку данных с геоинформационными системами для удобного отображения и анализа пространственных данных.

4) Безопасность данных: Обеспечение конфиденциальности и защиты данных с использованием методов шифрования и распределённого хранения.

5) Удобство доступа: Разработка интуитивно понятного интерфейса для пользователей, включая возможность работы с данными в режиме реального времени.

6) Совместимость и стандартизация: Обеспечение совместимости с существующими платформами и системами экологического мониторинга, а также стандартизация форматов данных для упрощения обмена информацией.

Методология

Методология исследования основывается на анализе существующих подходов к систематизации данных об экологическом состоянии природных территорий, подвергающихся воздействию ракетно-космической деятельности. Важным элементом исследования является использование современных методов управления базами данных и геоинформационных систем (ГИС), которые позволяют эффективно интегрировать различные виды данных, такие как пространственные, временные и химические, и визуализировать их для удобства анализа [7]. Эти системы предоставляют возможность многослойного анализа данных, что способствует более точной оценке экологических рисков.

Для оценки и анализа данных применяются статистические методы, которые помогают выявить тенденции и закономерности в распределении экологических рисков. Важную роль играет использование пространственного анализа в ГИС, что позволяет детально оценить воздействие антропогенных факторов на природные территории и их распределение [8]. Статистические инструменты позволяют идентифицировать наиболее критические зоны и определять долгосрочные экологические последствия воздействия.

Кроме того, в методологии акцент сделан на возможности автоматического обновления данных и их актуализации, что критически важно для эффективного мониторинга. Для этого предусматривается создание системы датчиков и сенсоров в районах падения частей ракет, которые будут непрерывно передавать данные в реальном времени. Это позволит своевременно выявлять экологические изменения и оперативно реагировать на критические ситуации. Также важно создание интуитивно понятных интерфейсов для доступа к данным, что облегчит использование библиотеки как учеными, так и государственными структурами.

ГИС-системы позволяют эффективно проводить многослойный анализ экологических данных, что существенно улучшает пространственную оценку экологических рисков и воздействий на экосистемы. Эти системы также помогают выявлять критические зоны для детальной оценки антропогенных факторов. Важным аспектом является многомерный анализ данных, что позволяет выявлять сложные взаимосвязи и прогнозировать долгосрочные последствия. Этот подход особенно эффективен для оценки влияния таких факторов, как химическое загрязнение почв и водоемов токсичными компонентами ракетного топлива, такими как несимметричный диметилгидразин. Оценка этих загрязнений проводится на основе данных мониторинга и позволяет своевременно принимать меры по их устранению [9].

Дополнительным аспектом методологии является обеспечение безопасности и конфиденциальности данных. Особенно это касается информации, имеющей стратегическое значение для национальной безопасности. Для этого предусматривается использование технологий шифрования данных и создание распределённых систем хранения, что минимизирует риск утраты или несанкционированного доступа к данным. Также предусмотрена система автоматических уведомлений, которая будет информировать ответственные структуры о критических изменениях в состоянии природных территорий, позволяя оперативно принимать необходимые меры.

Важной частью исследования является разработка предложений по совершенствованию нормативно-правовой базы, регулирующей мониторинг и охрану экологических территорий [10]. Это позволит усилить контроль за состоянием окружающей среды и снизить экологические риски. Применение методов статистического анализа и моделирования способствует выявлению наиболее уязвимых зон, что поможет разработать более эффективные и направленные меры по защите окружающей среды.

Заключение

В ходе исследования были рассмотрены ключевые аспекты формирования и использования специализированной библиотеки данных для мониторинга экологического состояния природных территорий, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности. Были сформулированы требования к библиотеке данных, которые охватывают вопросы систематизации, актуализации и обработки данных. Эти требования станут основой для её дальнейшей разработки и внедрения, что позволит значительно повысить эффективность экологического мониторинга и принятия обоснованных решений в сфере охраны окружающей среды.

Создание библиотеки данных обеспечит более точную оценку экологических рисков и выявление скрытых взаимосвязей между различными факторами, воздействующими на экосистемы. Это позволит улучшить управление природными ресурсами и выработать более устойчивые экологические стратегии. Это позволит не только разрабатывать научно обоснованные стратегии по охране и восстановлению природных территорий, но и значительно снизить негативное воздействие человеческой деятельности на окружающую среду [11]. Особое значение данная система приобретает в контексте обеспечения оперативного доступа к экологическим данным, что критически важно для управления природными ресурсами в условиях быстрого изменения экологической обстановки.

Долгосрочная перспектива использования библиотеки данных заключается в улучшении координации между государственными органами, научными учреждениями и экологическими организациями. Единая система мониторинга обеспечит более качественное управление природными территориями и их устойчивое развитие. Доступ к достоверной и актуальной информации позволит принимать более точные и эффективные решения, что повысит общий уровень экологической безопасности и устойчивости природных систем.

Благодарности

Исследования проведены при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта № AP23488291 «Разработка многофункционального ресурса экологической паспортизации районов падения отделяющихся частей ракет-носителей методом адаптивного представления интерактивных ГИС».

Литература

1. Аскаров Д.М., Изекенова А.К., Козловский В.А., Амрин М.К., Перевалов А.Я. Обзор методических подходов к проведению социально-гигиенических исследований на территориях, прилегающих к районам ракетно-космической деятельности // Вестник КазНМУ. 2020. №1.

2. Кулганов В.А., Матюшенок К.В., Соколов Д.А. Оценка химического загрязнения почвы в результате пролива остатков компонентов ракетного топлива отделяющихся частей ракет-носителей в районах падения // Технологии гражданской безопасности. 2022. №1 (71).

3. Аскаров Д.М., Амрин М.К., Изекенова А.К., Бейсенбинова Ж.Б., Досмухаметов А.Т. Пути к решению проблем гигиено-эпидемиологических исследований в регионах, подверженных воздействию ракетно-космической деятельности в Казахстане // Вестник КазНМУ. 2022. №1.

4. Королева Т.В., Кречетов П.П., Черницова О.В. Структура и задачи экологического мониторинга районов падения отделяющихся частей ракет-носителей // МНКО. 2010. №5.

5. Епифанов И.К., Кондратьев А.Д., Королева Т.В., Черницова О.В., Кречетов П.П. Структура и задачи экологического мониторинга ракетно-космической деятельности // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2012. №26.

6. Зяблицкая А.Н., Новикова И.И., Щучинов Л.В. Результаты проведения эколого-гигиенического мониторинга в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей // Медицина труда и экология человека. 2023. №4.

7. Ермолдина Г.Т., Алипбаев К.А., Аден А.Е., Оразалы Е.Е., Бапышев А.М., Суйменбаев Н.Б. Методологические аспекты оценки экологического ущерба при эксплуатации перспективных ракет-носителей // Информационно-телекоммуникационные технологии и другие смежные системы. 2021. №2. С. 132-139.

8. Черницова О.В., Касимов Н.С., Королева Т.В., Кречетов П.П. ГИС-технологии при оценке воздействия пусков ракет-носителей на окружающую среду // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2010. №2.

9. Trushlyakov V.I., Alipbayev K.A., Yermoldina G.T., Suimenbayeva Zh.B., Utegenova A.U., Bapyshev A.M. The methodology of experimental researches of the production of gas-vapor mixtures for controlling the movement of the spent stages of launch vehicles during the descent from launching trajectories // Энергетика, инфокоммуникационные технологии и высшее образование: Материалы XI Международной научно-технической конференции. 16-18 октября 2020. С. 400-402.

10. Мороз О.В. Проблемы правового закрепления объектов стратегической экологической оценки, оценки воздействия на окружающую среду и государственной экологической экспертизы // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 4. Правоведение. 2018. Т. 8. №5. С. 29-37.

11. Yermoldina G.T., Trushlyakov V.I., Alipbayev K.A., Utegenova A.U. Information and forecasting system for determining the launch and impact areas of ultralight launch vehicles taking into account the requirements of environmental safety // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2022. Vol.100. No 1. P. 52-60.

СЕКЦИЯ 3

Жасанды интеллект технологиялары: интеллектуалды басқару жүйелері. Сөйлеу технологиясы және компьютерлік лингвистика. Үлгіні тану және кескінді өңдеу. Биоинформатика және биометриялық жүйелер. Адам мен машинаның өзара әрекеттесуі. Машиналық оқыту. Интеллектуалды робототехникалық жүйелер

Технологии искусственного интеллекта: Интеллектуальные системы управления. Речевые технологии и компьютерная лингвистика. Распознавание образов и обработка изображений. Биоинформатика и биометрические системы. Человеко-машинное взаимодействие. Машинное обучение. Интеллектуальные робототехнические системы

Artificial Intelligence Technologies: Intelligent Control Systems. Speech technologies and computational linguistics. Pattern recognition and image processing. Bioinformatics and biometric systems. Human-machine interaction. Machine learning. Intelligent robotic systems

СТУДЕНТТЕРДІҢ ӨМІР СҮРУ САПАСЫН БАҒАЛАУ: ӘСЕР ЕТЕТІН НЕГІЗГІ ФАКТОРЛАРДЫ ТАЛДАУ

М.Е. Мансурова, Т.С. Сарсембаева, Г.А. Тюлепбердинова А.М. Мауленова
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Мақалада студенттердің денсаулығы мен әл-ауқатына әсер ететін факторларды бағалау үшін логистикалық регрессия моделі қолданылды. Зерттеу 544 қатысушыға арналған кешенді сауалнамадан тұрады, ол 7 тақырыптық блок бойынша бөлінген 201 сұрақты қамтиды. Бұл блоктар студенттердің денсаулығы мен өмір салтының әртүрлі аспектілерін, соның ішінде физикалық денсаулық, психикалық әл-ауқат, академиялық стресс, тамақтану әдеттері және т.б. зерттеуге бағытталған. Машиналық оқыту әдістерін пайдалана отырып, зерттеу мәліметтер жиынтығынан маңызды белгілерді F-ANOVA мәні арқылы таңдайды. Бұл процесс белгілерді жүйелі түрде іріктеуді, деректерді түрлендіруді және оларды оқыту мен тестілеу жиынтықтарына бөлуді қамтиды, мақсатты айнымалының теңгерімді өкілдігін стратификацияланған таңдау арқылы қамтамасыз етеді. Логистикалық регрессия моделі оқытылып, оның болжау дәлдігі әртүрлі белгілер жиынтығында бағаланады, бұл белгілерді таңдаудың моделдің тиімділігіне әсерін көрсетеді. Зерттеу модельдің студенттердің өмір сүру сапасының негізгі анықтаушыларын анықтау қабілетін көрсетеді, денсаулыққа пайдалы өмір салтын ұстанудың олардың жалпы әл-ауқатына және академиялық көрсеткіштеріне әсерін ерекше атап өтеді. Логистикалық регрессиядан басқа, біз 4 түрлі классификациялық модельді кешенді бағалауды жүргізіп, олардың әл-ауқат индексін болжауға арналған негізгі көрсеткіштерін талдадық.*

Түйін сөздер: *өмір сүру сапасы, деректерді талдау, машиналық оқыту, болжамды модельдер.*

Кіріспе

Соңғы жылдары жастар арасында денсаулықтың нашарлауы, созылмалы аурулардың көбеюі байқалуда, бұл ересек жаста жұмысқа қабілеттіліктің айтарлықтай шектелуіне және өмір сүру ұзақтығының қысқаруына әкеледі [1,2]. Психоэмоционалдық жүктемелердің артуы және салауатты өмір салты дағдыларының жеткіліксіздігі студенттердің бейімделуін қиындатып, ағзаның әртүрлі жүйелеріне жүктеме түсіріп, түрлі ауруларға айналуы мүмкін жағдайларды тудырады [3]. Осындай жағдайларда студенттердің денсаулық жағдайын бақылау жүйесін құру өзекті болып табылады. Бұл жүйе оқу орындарының басшылығына және медициналық қызметтерге студенттердің қазіргі жағдайын клиникалық кезеңге дейін бағалауға және олардың денсаулығын сақтауға жалпы және жекелендірілген тәсілдерді әзірлеуге мүмкіндік береді [4]. Студенттердің өмір сүру сапасының көрсеткіштерін өлшеу, олардың әсерін түсіну және ең маңызды көрсеткіштерді анықтау оқу орындары ұсынатын білім беру қызметтерінің сапасын арттыру үшін маңызды. Бұрынғы жұмысымызда [5] студенттердің жағдайын үздіксіз бақылау арқылы машиналық оқытуды қолдана отырып, шешім қабылдау процесін автоматтандыруға арналған тәсілдің архитектурасы ұсынылды. Ал [6] жұмысымызда студенттердің психологиялық денсаулық жағдайына әсер ететін факторлар ретінде ата-ананың болмауы, ата-ананың мүгедектігі, отбасы мүшелерінің мүгедектігі, толық емес отбасы мәртебесі және тіпті тұрып жатқан аймақтың экологиялық мәселелері атап өтіледі.

Қазақстан Республикасындағы студенттердің цифрлық денсаулық профилін әзірлеу қажеттілігі әртүрлі медициналық ақпараттық жүйелерден (МАЖ) деректерді пациенттердің құпиялылығын бұзбай, біртұтас құрылымды түрде біріктіру мәселесінен туындады.

Денсаулық туралы өзіндік есеп беру мәліметтері аурулардың алдын алу және денсаулықты нығайту стратегияларын тиімді жүзеге асыруда шешуші рөл атқарады. [7] жұмыста көрсетілгендей, сауалнамаға негізделген деректер жинау әдістерін пайдалану денсаулыққа қатысты ақпаратты тікелей адамдардан алудың өте тиімді тәсілі болып табылады. Бұл стратегия денсаулық деректерінің сапасы мен нақтылығын арттырып қана қоймай, алдын алу денсаулығын сақтаудағы әлемдік үздік тәжірибелермен үйлеседі және студенттерге бейімделген кешенді цифрлық денсаулық профилін жасаудың қажеттілігін негіздейді..

Салыстырмалы зерттеулер

Университеттік өмірге көшу көптеген адамдар үшін маңызды әрі қиын кезеңді білдіреді, ол жеке және әлеуметтік бейімделулермен ерекшеленеді. Студенттер әдетте таныс қолдау желілерінің болмауына, жаңа әлеуметтік байланыстар орнату қажеттілігіне, жаңа оқу және тұрғылықты ортаға бейімделуге және өз-өзіне қатаң тәртіп орнатуға тап болады [8, 9]. Зерттеулер көрсеткендей, салауатты өмір салтын ұстануға бел буған студенттер академиялық жолында субъективті әл-ауқаттың жоғары деңгейін сезінеді [10].

Әрі қарай жүргізілген зерттеулер Қазақстандағы студенттер арасында өмір салтын кенеттен өзгерту, денсаулыққа қауіп төндіретін алаңдаушылық, оқуға деген ынтасының төмендеуі және әл-ауқатқа деген көзқарастың өзгеруімен асқынған психоәлеуметтік шаршаудың қорқынышты таралуын анықтады [11]. Сауалнамалар мен оқытуды басқару жүйесінің (LMS) өнімділік деректерін пайдаланатын бағытталған зерттеу академиялық нәтижелерді болжау және студенттердің оқуына әсер ететін негізгі факторларды анықтау үшін машиналық оқытуды пайдаланады, деректерге негізделген кері байланыс пен өзін-өзі реттеу тәжірибесін жақсарту үшін интеллектуалды ұсыныстарды ұсынады [12].

Сонымен қатар, Оңтүстік-Шығыс Азиядағы студенттер арасында психикалық әл-ауқат көрсеткіштерін талдау үшін машиналық оқыту алгоритмдерін қолданған зерттеулер психикалық денсаулық проблемаларын болжауда тиімді екені дәлелденді, университеттерден алынған деректерді пайдалану арқылы [13]. Тағы бір зерттеу қатысушылардың салауатты өмір салтын таңдауларын болжау мақсатында денсаулықты нығайту өмір салтының II индексі (HPLP-II) және оның алты қосалқы шкаласына қарсы алты демографиялық айнымалы бойынша көптік регрессиялық талдау жүргізді. Нәтижелер университеттердің мақсатты білім беру бағдарламалары арқылы салауатты әдеттерді қалыптастыру жолдарын ұсынуы мүмкін екенін көрсетеді [14].

Жалпы алғанда, көппараметрлі сызықтық регрессия және машиналық оқыту әдістері студенттердің өміріне әсер ететін күрделі факторларды талдау және модельдеу үшін қуатты құралдар болып табылады. Әсіресе Қазақстан сияқты дамушы елде, ересек жаста қалыптасқан өмір салты әдеттерін өзгерту қиын болғандықтан, университеттер адамдарға орта жасынан асқаннан кейін пайда әкелетін салауатты мінез-құлықтарды енгізуге арналған бірегей платформа ұсынады [15].

Студенттердің тамақтану әдеттері когнитивтік функциялар мен академиялық үлгерімге айтарлықтай әсер етеді [16].

Болжамдық аналитикаға қабілетті алгоритмдер студенттердің денсаулық тенденциялары мен тәуекел факторлары туралы маңызды мәліметтер береді. [17] еңбекте авторлар студенттердің өмір салты мен оқу жүктемесіне негізделген психикалық денсаулық мәселелерін болжау үшін машиналық оқыту модельдерін қолдануды атап өтеді. Бұл болжамдық тәсіл ерте араласу және жеке қолдау қызметтерін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді, студенттердің денсаулығын басқарудағы озық аналитиканың маңызды рөлін көрсетеді.

Логистикалық регрессия модельдеріндегі ерекшеліктерді таңдау, әсіресе денсаулық деректерінің жиынтығында, модельдердің дәлдігі мен түсініктілігін арттырады. [18] жұмыста жоғары өлшемді биологиялық деректер контекстінде ерекшеліктерді таңдау

әдістеріне жан-жақты шолу берілген. Олардың талдауы сенімді ерекшеліктерді таңдау нәтижелерді жақсарту және есептеу шығындарын азайтудағы маңыздылығын көрсетеді. Сонымен қатар, [19] жұмыста машиналық оқытудағы ерекшеліктерді таңдау рөлі және оның денсаулық деректерін талдауға әсері талқыланып, модельдің қарапайымдылығы мен болжамдық мүмкіндіктері арасындағы тепе-теңдікке назар аударылады.

Осы мақалада біз машиналық оқыту әдістерін қолдану арқылы студенттердің өмір сүру сапасына әсер ететін факторларды анықтауға тырысамыз. Бұл студенттердің денсаулығын бақылау жүйесі үшін маңызды сипаттама болып табылады.

Деректер көздері. Бұл зерттеу үшін деректерді жинау, ең алдымен, денсаулыққа қатысты және әлеуметтік-демографиялық өлшемдердің кең ауқымы туралы ақпаратты жинау үшін мұқият әзірленген жан-жақты сауалнамалар арқылы жүргізілді.

Зерттеу 544 қатысушының 201 сұрағына жауаптардан алынды. Сауалнама жеті тақырыптық салаға бөлінген, бұл факторларды жан-жақты тексеруді жеңілдетеді. «Тамақтану» бөлімінде студенттердің тамақтану әдеттері, «Түнгі экранды пайдалану және әлеуметтік медиа» бөлімінде экранды пайдалану мен әлеуметтік желідегі белсенділік, «Отбасы тарихы» бөлімінде тұқым қуалайтын аурулар, «Аллергия және тыныс алу мүшелерінің денсаулығы» бөлімінде респираторлық аурулар мен аллергия, «Зәр шығару жүйесі» бөлімінде бүйрек пен қуық проблемалары, «Пост-COVID синдромы» бөлімінде COVID-19-дан кейінгі белгілер, ал «Психикалық денсаулық» бөлімінде GAD-7 және Бек инвентаризациясы арқылы алаңдаушылық пен депрессия белгілері бағаланады.

Алдын ала мәліметтерді өңдеу және студенттердің әл-ауқатының индексін құру

Студенттердің жалпы әл-ауқатын сандық бағалау үшін біз «Студенттердің әл-ауқат индексін» жасадық. Бұл индекс физикалық және психикалық денсаулық көрсеткіштерін қамтитын сұрақтар жиынтығына берілген жауаптар негізінде есептелді. Сұрақтар психологиялық сезімдерден, мысалы, мазасыздық, алаңдаушылық, ашушаңдық, қорқыныш және өзін сәтсіздікке ұшырату немесе кінәлау сезімдерінен, сондай-ақ өзін-өзі қабылдау, жұмысты жеңіл орындау және басқалармен қарым-қатынасқа деген қызығушылықтан тұрды. Сондай-ақ, физикалық белгілер мен жағдайлар, мысалы, ұйқы сапасы, шаршау, тәбет пен салмақ өзгерістері, сондай-ақ денсаулыққа қатысты мәселелер қарастырылды.

Әр сұрақ Лайкерт шкаласы бойынша 1-ден (ешқашан) 3-ке (әрқашан) дейін бағаланды, бұл студенттерге өз сезімдері немесе жағдайларының жиілігін көрсетуге мүмкіндік берді. Мазасыздық, алаңдаушылық және өзіне қатысты теріс сезімдер сияқты теріс көрсеткіштер жоғарырақ балл әрқашан жақсы әл-ауқатты көрсететіндей кері кодталды. Студенттердің әл-ауқат индексі әр студент үшін осы 27 айнымалының орташа мәні ретінде есептелді. Бұл әдіс әр сұрақтың жалпы әл-ауқат индексіне тең үлесін қамтамасыз етті және түсінуге және салыстыруға оңай соңғы балл жасады. Мысалы, 1 көрсеткіші студенттің әрқашан теріс эмоциялар немесе физикалық белгілерді сезінетінін және ешқашан оң сезімдер немесе жағдайларды сезінбейтінін білдірсе, ал 5 көрсеткіші студенттің ешқашан теріс жағдайларды бастан кешірмейтінін және әрқашан оң жағдайларды сезінетінін білдіреді. Біз бұл агрегатталған көрсеткішті келесі талдауларда негізгі нәтижелер көрсеткіші ретінде қолданып, оны әртүрлі демографиялық, өмір салты және денсаулыққа байланысты факторлармен байланысын зерттедік. Бұл кешенді көзқарас студенттердің әл-ауқатын жан-жақты қарастыруға мүмкіндік берді.

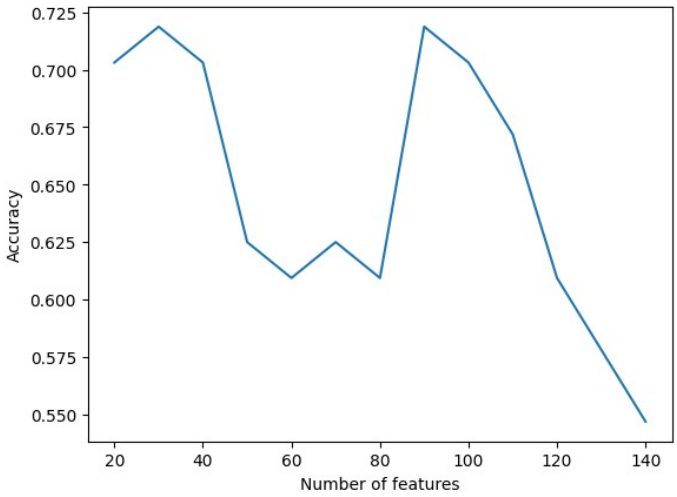
Осы зерттеу протоколы әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университетінің Медицина және денсаулық сақтау факультетінің жергілікті этика комитетімен IRB-A148 нөмірі бойынша бекітілді. Зерттеуге студенттердің қатысуы ерікті және толық ақпараттандырылған келісімге негізделген, Дүниежүзілік медициналық ассоциацияның Хельсинки декларациясына сәйкес жүргізіледі. Қатысушыларға сәйкестендіру нөмірлері

тағайындалады және барлық тіркеулер мен электрондық деректер базаларында тек осы нөмірлер қолданылады.

Студенттердің әл-ауқатының көрсеткішін болжауға арналған логистикалық регрессия моделі

Біз логистикалық регрессия моделінің болжамдық тиімділігіне сипаттамаларды іріктеудің әсерін бағалау үшін ANOVA F-мәнін (f_classif) пайдаланып, ең үздік k сипаттаманы таңдадық. Процесс 20-дан 140-қа дейінгі k мәндерімен 10 қадамда қайталанды. Әр итерацияда SelectKBest арқылы ең үздік k сипаттама таңдалып, деректер жиыны түрлендірілді, содан кейін стратификацияланған іріктеу арқылы оқу және тест жиындарына бөлінді. Логистикалық регрессия моделі таңдалған сипаттамалар бойынша оқытылып, тест жиынында болжам жасады, нәтижесінде болжамдардың дәлдігі есептелді.

k=28 болған итерация үшін логистикалық регрессия моделінің коэффициенттері бойынша әр сипаттаманың маңыздылығы алынып, сақталды. Сипаттамалар маңыздылығына қарай сұрыпталып, ең ықпалды сипаттамалардың атаулары көрсетілді. Соңында, логистикалық регрессия моделінің әр k мәні үшін дәлдігі шығарылды (1-сурет). Талдау нәтижесінде классификация тапсырмалары үшін ең маңызды сипаттамалардың жиынтығы анықталды.



1 – сурет . Әр түрлі мүмкіндіктер саны үшін логистикалық регрессия үлгісінің дәлдігі

1-кестеде олардың сәйкес баллдарымен бірге 28 ең үздік сипаттама көрсетілген.

1-кесте. Регрессиялық модельдің салмақтары

Коэффицент (b_n)	Сұрақ (X_n)
3.08E-01	Сіз күніне қанша мл тәтті газдалған сусын ішесіз?
1.28E-01	Үйіңізден тыс жерде дайындалған тағамды қаншалықты жиі жейсіз?
6.40E-02	Сіз қызыл ет (сиыр, жылқы, қой еті) жейсіз бе?
-9.06E-04	Аурухана, емхана, жатақхана, университет аумағында біреу темекі шегетін болса, не істейсіз?
8.99E-01	Сіз тіс дәрігеріне профилактикалық тексеруге қаншалықты жиі барасыз?
3.84E-01	Сіз тіс щеткаңызды қаншалықты жиі ауыстырасыз?
3.32E-01	Сіз балық жейсіз бе (тунец, треска, майшабақ, алабұға, тұқы, көксерке, форель, лосось, бекіре)

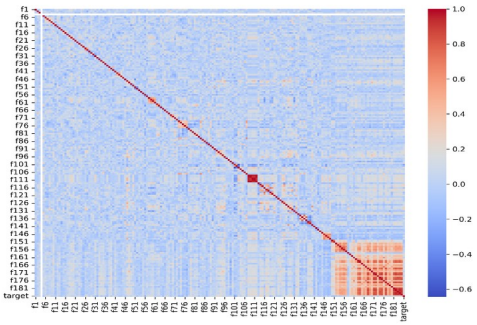
2.86E-01	Сіз күніне қанша рет тісіңізді жуасыз?
8.47E-02	Алкогольге қалай қарайсыз?
5.42E-01	Сіз әдетте аптасына қанша күн жаңа піскен көкөністер мен жасыл көкөніс жейсіз?
6.73E-01	Сізде ерекше тағамдық артықшылықтар бар ма?
-3.51E-01	Мүгедектік тобы (бар болса)\n',
-1.42E-01	Сіз күн ішінде қаншалықты жиі жейсіз?
4.39E-01	Сізде созылмалы аурулар бар ма? \n
-1.78E-02	Күн ішінде энергетикалық сусындарды (Red Bull, Dizzy, Adrenalin, Gorilla, т.б.) қаншалықты жиі ішесіз?
9.88E-01	Сіздің тұрақты тағамыңыз қаншалықты тұзды?
-1.05E+00	Түскі асыңызға не кіреді?
2.47E-01	Сізде қосымша жұмыс бар ма? Қосымша жұмыс болса жазыңыз
5.18E-01	Түскі асты қаншалықты жиі ішесіз? «Таңғы асыңызға не кіреді?
1.73E-01	Сіз әдетте аптасына қанша күн жаңа піскен жемістерді жейсіз?
-5.44E-01	Үйде тамақ дайындаған кезде йодталған тұзды пайдаланасыз ба?
-5.85E-02	Темекі шегуге қалай қарайсыз?', 'Тағамыңызда не бар?',
-1.47E-01	Сіз тамақтан уланған кезіңіз болды ма? \n! Егер улану орын алса, қандай жағдайда (мысалы, студенттік жатақхана) сипаттаңыз!',
-2.49E-01	Кешкі асты сағат нешеде ішесіз?',
7.47E-01	Сіз ішіңіздің жоғарғы бөлігінде ауырсынуды сезесіз бе?',
1.09E+00	Сіз таңғы асыңызды қаншалықты жиі ішесіз?',
5.71E-01	Сіз күніне қанша литр таза су ішесіз? (сорпаларды, шайды, кофені, тәтті сусындарды қоспағанда)'
-5.69E-02	Сізде мінез бар ма?'

Кестедегі әрбір жол сауалнамадағы белгілі бір сұраққа сәйкес келеді. Сұрақ идентификаторы немесе тег сізге қандай сұрақ қойылғанын түсінуге көмектеседі.

Бұл логистикалық регрессия үлгісіндегі әрбір сұраққа есептелген коэффициент. Ол болжау айнымалысы (сұраққа жауап) мен нәтиженің журналдық коэффициенттері арасындағы қатынасты көрсетеді. Оң коэффициенттер сұраққа жоғары жауап оң нәтиженің жоғары ықтималдығымен байланысты екенін көрсетеді, ал теріс коэффициенттер керісінше көрсетеді.

Талдау нәтижесінде студенттердің өмір сүру сапасына ықпал ететін сипаттамалардың көпшілігі тамақтану әдеттері мен өмір салтын таңдаумен байланысты екені анықталды. Салауатты тағамдарды жейтін студенттер өздерін жайлы сезінеді және алаңдаушылық пен денсаулыққа байланысты асқынуларды бастан кешіреді.

Студенттердің әл-ауқат деңгейін болжаудың классификациялық әдістері



2-сурет. Деректер жиынының мүмкіндіктері арасындағы корреляциялық матрица

Деректер жиынындағы айнымалылар арасындағы сызықтық қатынастар корреляциялық матрицаны қолдану арқылы мұқият бағаланды, оның нәтижелері жылу картасында суреттелді (2-сурет). Бұл матрица әр айнымалы жұп арасындағы r мәндерімен -1-ден 1-ге дейінгі диапазонды қамтитын Пирсон корреляция коэффициенттерін (r) инкапсуляциялайды. Бұл мәндер сәйкесінше тамаша теріс және тамаша оң сызықтық корреляцияны білдіреді, ал 0-ге жақын коэффициенттер көрсетеді айнымалылар арасындағы минималды сызықтық қатынас. Корреляциялық талдаудың сыни бақылауы тек бірнеше таңдалған айнымалылардың корреляцияның орташа және жоғары дәрежесін көрсеткенін көрсетті. Сондықтан, жіктеу кезеңінде біз барлық тиісті белгілер жиынтығын сақтауды таңдай отырып, ешбір ерекшеліктерді жоққа шығармауды шештік. Бұл шешім айнымалылардың жан-жақты массивін сақтау көптеген белгілер арасында байқалған ең аз корреляцияға қарамастан, модельдің болжау мүмкіндігін әлеуетті түрде байыта алады деген алғышартқа негізделген.

2-кесте. Салыстыру әдістерінің салыстыру кестесі

Модель	**F1-Score**	**Дәлдік**	**AUC**
Логистикалық регрессия	0.4375	0.5609	0.5525
Кездейсоқ орман	0.2000	0.6097	0.7000
Тірек векторлық машинасы	0.2200	0.6097	0.4850
XGBoost	0.2962	0.5365	0.5575

Студенттердің әл-ауқатының көрсеткіштерін болжау үшін біз оларды алдын ала анықталған шкала негізінде бес бөлек сыныпқа бөлдік. Деректер жинағы сәйкесінше 70-30% қатынасы бар оқу және сынақ жинақтарына бөлінді. Біз модельдің өнімділігін үш негізгі көрсеткіш арқылы бағаладық: қисық астындағы аумақ (AUC), F1 ұпайы және дәлдік. Біздің талдау логистикалық регрессия, кездейсоқ орман, қолдау векторлық машиналары (SVMs) және XGBoost сияқты бірнеше жіктеу әдістерін қамтыды.

Логистикалық регрессия екілік нәтижелерді болжайтын статистикалық модель ретінде пайда болды, 0,4375 F1 ұпайына қол жеткізді. Бұл балл оң сынып үшін орташа дәлдікті және еске түсіруді көрсетеді. Оның дәлдігі 0,5610 болды, бұл дұрыс болжамдардың жалпы жылдамдығын көрсетеді, ал оның AUC мәні 0,5525 болды, бұл ықтималдылықтан сәл жоғары, бұл ең аз болжау мүмкіндігін көрсетеді. Random Forest, шешім ағашының жіктеуіштерін пайдаланатын ансамбль әдісі, 0,2000 төмен F1 ұпайына қарамастан, 0,6098 үлгісінің ең жоғары дәлдігін тіркеді. Ол сыналған модельдер арасында тамаша сыныптық дискриминация қабілетін көрсете отырып, 0,7000 ең жоғары AUC ұпайына қол жеткізді.

Оңтайлы класс бөлу гипержазықтықын табуда сенімділігімен танымал тірек векторлық машинасы (SVM) де пайдаланылды. Салыстыру үшін, XGBoost, тиімділігі мен өнімділігімен танымал, градиентті күшейтетін шешім ағашын іске асыру F1 0,2963 ұпайын берді. Оның дәлдігі 0,5366 және AUC 0,5575 болды, бұл кемсітушілік күші бойынша логистикалық регрессиямен салыстырмалы өнімділікті көрсетеді.

Қорытынды

Мақалада студенттердің өмір сапасын бағалауда логистикалық регрессияның болжамды дәлдігіне факторларды таңдау қалай әсер ететінін түсінуге зерттеудің қосқан үлесі егжей-тегжейлі сипатталған. Деректер жиынынан ең маңызды факторларды таңдау және олардың мақсатты айнымалымен байланысын талдау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану сипатталған. Процедура негізгі мүмкіндіктерді таңдауды, деректерді

түрлендіруді және мақсатты айнымалының таралуын сақтау үшін стратификацияланған іріктеуді пайдаланып оқу және сынақ жиындарына бөлуді қамтиды. Оқытылған логистикалық регрессия моделі содан кейін болжамдар жасау үшін пайдаланылады және оның дәлдігі болжамдардың дәлдігімен бағаланады. Зерттеу нәтижелері сипаттамаларды дұрыс таңдау студенттердің өмір сүру сапасына ықпал ететін маңызды факторларды бөліп көрсете отырып, болжамдық модельдің тиімділігін айтарлықтай жақсартатынын көрсетеді. Бұл факторларға салауатты тамақтану және өмір салты жатады, олар алаңдаушылықтың төмендеуімен және оқу үлгерімін жақсартумен тікелей байланысты, болашақ профилактикалық және қолдау шаралары үшін негіз болады.

Алғыс

Зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің № AP23488439 «Қазақстанда студенттердің стресс деңгейін бақылауға арналған заттар интернеті негізінде киілетін құрылғыларды әзірлеу және енгізу» гранты бойынша қаржыландырылды (2024-2026 жж.).

Әдебиеттер тізімі

1. Azzopardi SP, Heaps JCS, Francis LK, et al. Progress in adolescent health and wellbeing: track-ing 12 headline indicators for 195 countries and territories, 1990-2016. Lancet. 2019;393:1101–1118. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32427-9

2. Kazakhstan's 2022 report on HSBC in collaboration with WHO https://drive.google.com/file/d/1ud54T1HLMF7Wai-KX2PO5vaQkUh3xMib/view (in Kazakh)

3. Ratul IJ, Nishat MM, Faisal F, Sultana S, Ahmed A, Al Mamun MA. Analyzing Perceived Psy-chological and Social Stress of University Students: A Machine Learning Approach. Heliyon. 2023 Jun;9(6):e17307. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e17307. Epub 2023 Jun 15. PMID: 37332920; PMCID: PMC10266890.

4. WHO. Global Accelerated Action for the Health of Adolescents (AA-HA!): guidance to support country implementation. Second edition. Geneva: World Health Organization, 2023. https://www.who.int/publications/i/item/9789240081765

5. M. Mansurova, L. Sarsenova, N. Kadyrbek, T. Sarsembayeva, G. Tyulepberdinova and B. Sailau, "Design and Development of Student Digital Health Profile," 2021 IEEE 15th International Confer-ence on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Baku, Azerbaijan, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/AICT52784.2021.9620459.

6. M. Mansurova, M. Zubairova, N. Kadyrbek, G. Tyulepberdinova and T. Sarsembayeva, "Data Analysis for The Student Health Digital Profile," 2021 16th International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), Kaskelen, Kazakhstan, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICECCO53203.2021.9663804.

7. Nittas V, Lun P, Ehrler F, Puhan MA, Mütsch M. Electronic Patient-Generated Health Data to Facilitate Disease Prevention and Health Promotion: Scoping Review. J Med Internet Res. 2019 Oct 14;21(10): e13320. doi: 10.2196/13320. PMID: 31613225; PMCID: PMC6914107.

8. Almutairi KM, Alonazi WB, Vinluan JM, Almigbal TH, Batais MA, Alodhayani AA, et al. Health promoting lifestyle of university students in Saudi Arabia: a cross-sectional assessment. BMC Public Health. 2018;18:1093.

9. Wang D, Ou CQ, Chen MY, Duan N. Health-promoting lifestyles of university students in main-land China. BMC Public Health. 2009;9:379.

10.Jang HJ. Comparative study of health promoting lifestyle and subjective happiness on nursing students and non-nursing students. Adv Sci Technol Lett. 2016;128:78–82

11. Akhmetova V, Balji Y, Kandalina Y, Iskineyeva A, Mukhamejanova A, Baspakova A, Uzakov Y, Issayeva K, Zamaratskaia G. Self-reported consumption frequency of meat and fish products among young adults in Kazakhstan. Nutr Health. 2022 Jul 13:2601060221114230. doi: 10.1177/02601060221114230. Epub ahead of print. PMID: 35832031.

12. Afzaal, Muhammad & Nouri, Jalal & Zia, Aayesha & Papapetrou, Panagiotis & Fors, Uno & Weegar, Rebecka & Wu, Yongchao & Li, Xiu. (2021). Explainable AI for Data-Driven Feedback and

Intelligent Action Recommendations to Support Students Self-Regulation. Frontiers in Artifi-cial Intelligence. 10.3389/frai.2021.723447

13. Abdul Rahman H, Kwicklis M, Ottom M, Amornsriwatanakul A, H Abdul-Mumin K, Rosen-berg M, Dinov ID. Machine Learning-Based Prediction of Mental Well-Being Using Health Behav-ior Data from University Students. Bioengineering (Basel). 2023 May 10;10(5):575. doi: 10.3390/bioengineering10050575. PMID: 37237644; PMCID: PMC10215693.

14. Wei CN, Harada K, Ueda K, Fukumoto K, Minamoto K, Ueda A. Assessment of health-promoting lifestyle profile in Japanese university students. Environ Health Prev Med. 2012 May;17(3):222-7. doi: 10.1007/s12199-011-0244-8. Epub 2011 Oct 11. PMID: 21987366; PMCID: PMC3348247.

15. Chen, J.; Xiang, H.; Jiang, P.; Yu, L.; Jing, Y.; Li, F.; Wu, S.; Fu, X.; Liu, Y.; Kwan, H.; et al. The Role of Healthy Lifestyle in the Implementation of Regressing Suboptimal Health Status among College Students in China: A Nested Case-Control Study. Int. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 240. https://doi.org/10.3390/ijerph14030240

16. Hewitt G., Anthony R., Moore G., Melendez-Torres G.J., Murphy S. (2019) Student Health and Wellbeing In Wales: Report of the 2017/18 Health Behaviour in School-aged Children Survey and School Health Research Network Student Health and Wellbeing Survey. Cardiff University, Cardiff, UK

17. N. S. M. Shafiee and S. Mutalib. Prediction of mental health problems among higher education student using machine learning. International Journal of Education and Management Engineering (IJEME), 10(6):1–9, 2020.

18. Y. Saeys, I. Inza, and P. Larranaga. A review of feature selection techniques in bioinformatics. bioinformatics, 23(19):2507–2517, 2007.

19. I.GuyonandA.Elisseeff. An introduction to variable and feature selection. Journal of machine learning research, 3(Mar):1157–1182, 2003.

Мансурова Мадина Есимхановна – профессор.. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: mansurova.madina@gmail.com

Сарсембаева Талшын Сағдатбекқызы – аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: sarsembayeva.talshyn@gmail.com

Тюлепбердинова Гульнур Алпыскызы – доцент . әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: gulnur.tiulepberdynova@kaznu.edu.kz

Мауленова Алма Мухитовна – магистрант . әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: maulenova_alma@mail.ru

OPTIMIZATION OF IMAGE CODING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mukhammadyunus Norinov
Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana, Uzbekistan
Corresponding author: norinovmuhammadyunus@gmail.com

Optimization of image coding and compression processes using artificial intelligence is an important part of modern technological development. This article looks at the main methods in the image coding process with which it analyzes ways to make coding efficient and qualitative. The results of the study show that artificial intelligence technologies, including neural networks and generative models, have great potential to increase the speed, efficiency and quality of coding. Artificial intelligence has a great potential in the development of television technology. This article analyzes the integration of artificial intelligence in the television field, studying its main capabilities, difficulties and future development trends. The results of the study show that artificial intelligence plays a large role in the creation, personalization, quality optimization and automation of television content..

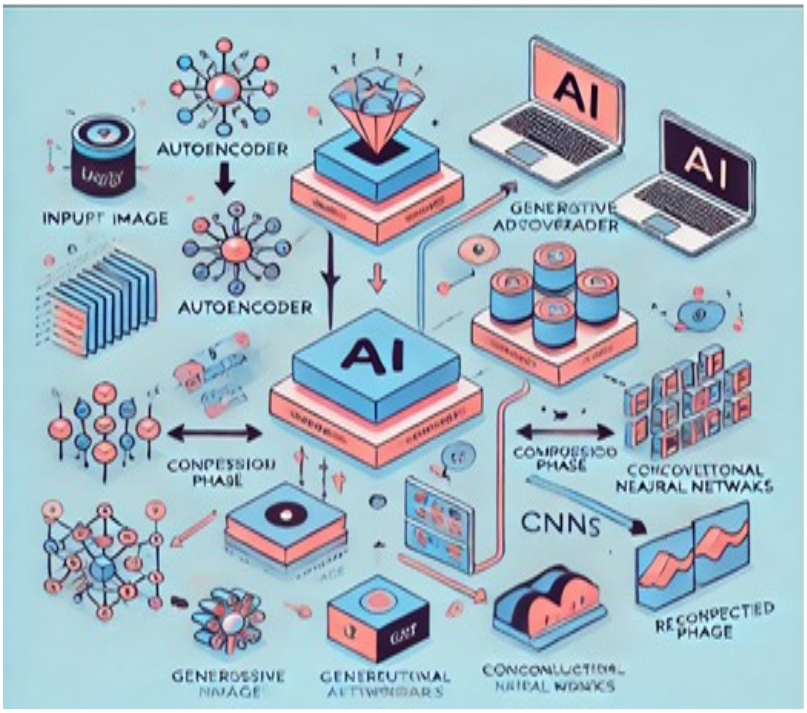
Keywords: *artificial intelligence (AI), Image Coding (Image encoding), image compression (Image compression), Autoencoder, Generative Adversarial Networks (GANs), convolutional, neural networks (CNN), Recurrent Neural Networks (RNN), television technologies Super-resolution (Super-resolution), personalized content (Personalized content), recommendation systems (Recommendation systems), Image Quality Enhancement (Image quality enhancement.*

Introduction

Introduction (Introduction Image encoding (image encoding) technologies are an integral part of most multimedia applications, digital image transfer and storage systems. Despite the good performance of traditionalist encodings, in many cases there is a loss of quality in the process of encoding large amounts of data. For this reason, new approaches to improving the efficiency of coding using artificial intelligence technologies are widely used. With this study, the main methods of optimizing the image coding process are examined and practical results are presented. Television technologies are developing rapidly, artificial intelligence is becoming one of the main factors in their transformation. Its technologies make it possible to reduce human participation, automate content, increase interactivity and personalize the user experience. This article analyzes important aspects of its integration with television technology, its applications and future prospects

Materials And Methods

The study Applied Machine Learning (machine learning) and deep learning (deep learning) methods. Image compression and retrieval processes were analyzed using convolutional neural networks (CNN) and autoencoders to optimize image coding. Initially, images from ImageNet and COCO datasets were used, which were prepared and trained for analysis. In image compression, Autoencoder, Generative Adversarial Networks (GANs), and Recurrent Neural Networks (RNNs) technologies were used. Various configurations of SI models were tested during the experiments, including changing the number of layers and coupling density of convolutional networks, and studying the effect of each model on the image coding process.



1.image

1.the image is a diagram representing the process of optimizing image coding using artificial intelligence. This diagram shows how technologies such as Autoencoder, GAN, and CNN work in the image coding process. Describes changes in the image compressed and reconstructed from the encoding and compression steps.

Results

Image compression and recovery using Autoencoder Image compression experiments using autoencoders have shown that low resolution images can be recreated at a high level. The Autoencoder neural network encodes images into latent space and then restores them to near their original state. During the experiments, the average PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) value of compressed images was around 32-35 dB, which showed that images recovered from the compressed state almost without quality loss

Table 1

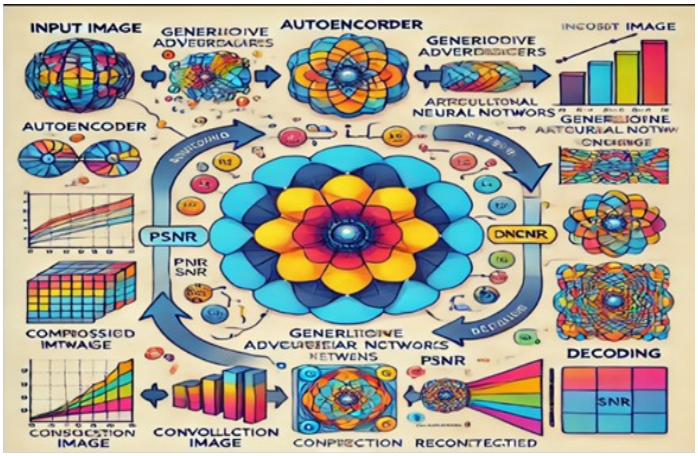
Parameters	**compression level (%)**	**PSNR value (dB)**	**compressed volume (KB)**	**restored image quality**
Original image size	0	-	500	original
Compressed image (Autoencoder)	60	34	200	good
Siqilgan tasvir (Autoencoder)	75	32	150	medium
Siqilgan tasvir (Autoencoder)	85	28	100	satisfactory

Recovery in high definition through generative models Image compression and recovery processes using GANs have yielded high quality results. The process of reconstructing compressed images through generative models using SI has been tested with several parameters. The Super-Resolution GAN (SRGAN) model worked effectively to accurately reconstruct features in the recovered portion of images. This technique restored the sharpness and texture of the images to a very close degree to their original state, maintaining quality even at high compression levels.

Table 2

Algorithm	compression ratio (%)	value PS (dB)	the quality of image restoration	restoration the details of
super-resolution GAN (SRGANA)	50	36	Excellent	good details
SRGANA (high compression)	70	30	Medium	Medium details
GAN (simple compression)	80	29	Satisfactory	reduced details

Improving quality with CNN Methods to improve image quality using convolutional neural networks have been tested. Low-quality images were recreated in high quality using residential Learning technology. The Model showed high results in reconstructing parts of the image lost during compression. With this technology, the size of compressed images, which can be restored in high quality, was reduced by 50-60%.



2.image

Figure 2 is a diagram reflecting the process of optimizing image coding using artificial intelligence. The diagram shows the stages of image encoding, compression, and recovery through various AI technologies, including Autoencoder, GAN, and CNN. PSNR values are also included to assess the basic steps of the coding process and image quality.

Table 3

The level of image compression (%)	Of The Original Image Size (kb)	Value PS (dB)	Restoration Of The Quality Of	The Compressed Size (Kb)
60	500	33	Medium	200
70	500	31	Good	150
80	500	28	Satisfactory	100

Dynamic coding with recommendation algorithms RNN and recommendation systems were used to analyze users ' vision preferences. With these systems, the image coding process was personalized and efficiency in data transmission was increased. This helped reduce excess data by providing the user with the desired quality level.

Table 4

Algorithm	Personalize rate (%)	Successfully recommendations (%)	mamnunligini User (%)
on the basis of the rn, the recommended system	80	85	90
recommended system CNN on the basis of	75	82	88

Content creation and automation with the help of SI, the processes of creating television content have significantly accelerated and automated. Many TV channels are now using SI technologies in content preparation, including NLP (Natural Language Processing) and computer vision (Computer Vision). These technologies make it possible to create automatic News, develop scripts, and even edit content.

Personalized user experiences Television content is personalized based on user preferences. Recurrent neural networks (RNNs) and referral systems (Recommendation Systems) allow users to offer content that matches their interests. These algorithms recommend content based on user tracking habits and prior experiences, making it easier to provide interesting and targeted content on platforms

Improve image and video quality,

Convolutional neural networks are being used to enhance television image and video quality. Super resolution technologies allow you to restore compressed or low-quality videos in high definition. As a result, users are getting the opportunity to watch better quality content.

Personalization and optimization of ads technologies have led to major changes in the television advertising market. Personalization and time optimization of ads according to user preferences through algorithms are increasing advertising revenue. Targeting (targeted ads) and Dynamic Ad Insertion (DAI) technologies for advertising campaigns increase the effectiveness of advertising by analyzing user behavior.

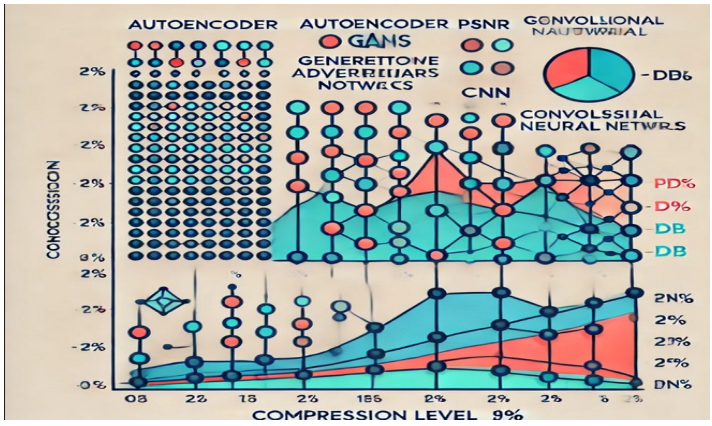


Figure 3 is a diagram showing the results obtained in graphical form on optimization of image coding using artificial intelligence. This graph reflects the correlation between compression levels and PSNR values in various technologies, including Autoencoder, GAN, and CNN-based methods.

3- image

Discussion. Debate (Discussion The results of the study showed that optimization of image coding using artificial intelligence has significant advantages over traditional methods. The use of Autoencoder and GAN models allows you to compress images at a high level and then restore them in quality. Also, quality enhancement technologies using CNN work successfully to recover missing dails in the compression procss. In some cases, however, small artifacts may appear in restored images, which may be felt in highly compressed images. SI technologies are bringing

about revolutionary changes in the television industry. Many TV channels now have the ability to automate processes ranging from content creation to distribution and delivery to users, greatly reducing human resources and time.

But along with the application of these technologies, some problems also arise. For example, issues of user privacy protection and the development of ethical rules of SI algorithms remain relevant. Also, although SI Systems can highly satisfy people's interest in content, sometimes these algorithms can make subjective or incorrect recommendations It is also an important issue to choose the optimal compression method in different data types, requiring the adaptation of SI models according to the type and difficulty level of the content. Further improvement and optimization of these methods is expected in the future, especially in real-time processing systems.

Conclusion. Optimization of image coding and compression processes using artificial intelligence makes it possible to significantly increase compression levels while maintaining image quality. New methods of data lossless compression and retrieval have been developed using Autoencoder, GAN, and CNN technologies. This research opens the door to new opportunities for optimizing image coding processes in future television technologies, medical images and mobile technol

REFERENCES

[1] Theis, L., et al. (2017). Lossy Image Compression with Neural Networks. *International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
[2] Ledig, C., et al. (2017). Photo-Realistic Single Image Super-Resolution Using a Generative Adversarial Network. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, 4681-4690.
[3] Toderici, G., et al. (2016). Full Resolution Image Compression with Recurrent Neural Networks. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, 5306-5314.
[4] Zhang, Y., & Liu, J. (2022). Artificial Intelligence in Television Technology: Challenges and Opportunities. IEEE Transactions on Broadcasting, 68(4), 1234-1245.
[5] Li, P., et al. (2021). Content Personalization with Deep Learning in Broadcasting. Journal of Artificial Intelligence Research, 45(3), 561-579..
[6] Kim, J., & Park, H. (2020). Super-Resolution Techniques in Television Broadcasting Using Convolutional Neural Networks. ACM Multimedia Conference, 2020, 1567-1575.
[7] Норинов М.У., Бойкузиев А.А., “Методы обработки и анализ традиционных форм телевизионных изображений”, “WORLD SOCIAL SCIENCE” ҳалқаро илмий журнал 2018/№1. 3.С.С. Бекназарова, М.У. Норинов., Методы обработкии нформационных ресурсов мультимедийных систем. –Т.: «Fan va texnologiya», 2019й, 140 стр.
[8] С.С.Бекназарова, М.У.Норинов., “Телевизион тасвирларни қайта ишлаш жараёнининг оптимал усуллари”, “ТошДТУхабарлари” 2018 й №4-сон.
[9] Porubay O. et al. Optimization of operation modes of renewable energy facilities to provide energy for agriculture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 538. – С. 01028.
[10] Ergashev O. et al. Programming and processing of big data using python language in medicine //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – Т. 538. – С. 02027.

Norinov Muhammad Yunus Usubjonovich – Fergana branch of Tashkent University of Information Technology;
norinovmuhammadyunus@gmail.com

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ОСНОВЕ НЕЙРОЭНДОКРИННО-ИММУНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА

[1]Самигулина Г.А.,*[2]Самигулина З.И.
[1]e-mail: galinasamigulina@mail.ru
[2]e-mail: zarinasamigulina@mail.ru
[1] *Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахстан,*
[2]*Казахстанско-Британский Технический Университет*

Аннотация. *Исследования посвящены возможности использования биоинсперированного подхода искусственных иммунных систем (ИИС) совместно с нейроэндокринной (НЭ) составляющей для управления сложными динамическими объектами и диагностики оборудования на предприятиях по переработке нефти и газа. Изучение сложных механизмов поддерки гомеостаза на основе нейроэндокринно-иммунологического (НЭИ) взаимодейтвия в биологической системе и их применение для систем промышленной автоматизации позволяет перейти на новый этап в развитии ИИС. Разработка высокоэффективной инновационной интеллектуальной технологии основанной на НЭИ взаимодействиях и принципах гомеостаза с учётом ограничений производственной среды и особенностей современного оборудования является актуальной задачей при решении проблем по цифроватизации и интеллектуализвации промышленного производства нефтегазового сектора в концепции «Индустрия 4.0». Рассматривается возможность разработки унифицированной искусственной иммунной системы с нейроэндокринным регулированием гомеостаза для управления сложными объекта и диагностики оборудования.*

1. Введение

Технологический прогресс в современном мире связанный с широкомасштабным развитием информационных технологий и систем искусственного интеллекта выдвигает новые требования к разработчикам и специалистам в области промышленной автоматизации в нефтегазовой отрасли [1]. В настоящее время традиционные методы управления устарели и не всегда эффективны при отсутствии исчерпывающей информации о внешних характеристиках среды функционирования; огромного количества неучтённых нестационарных факторов, влияющих на систему; изменений целей управления и критериев качества управления из-за аварийных ситуаций или изменения конфигурации системы и так далее. Внедрение инновационных интеллектуальных технологий в том числе на основе биоинсперированных подходов в промышленное производство, оснащённое современным наукоёмким оборудованием является одной из актуальнейших задач требующей решения для успешного развития нефтегазового сектора в рамках реализации программы «Индустрия 4.0».

Остро стоит необходимость в создании высокоэффективных современных интеллектуальных систем управления и диагностики оборудования, а также разработка методов их внедрения в реальное высокотехнологичное нефтеперерабатывающее производство. Актуальна реализация в этих системах перспективных направлений искусственного интеллекта на основе искусственных нейронных сетей, эволюционных алгоритмов, искусственных иммунных систем, искусственных эндокринных алгоритмов и других методов машинного обучения [2]. Интересен подход с использованием принципов функционирования биологических систем на основе гомеостаза, то есть саморегуляции

внутреннего состояния для сохранения динамического равновесия [3], реализация которого в технических системах представляется очень перспективным направлением.

Предлагаемые исследования являются продолжением работ по гранту финансируемому КН МНВО РК №AP09258508 (2021-2023 г.г.) «Разработка интеллектуальной технологии управления сложными объектами на основе унифицированной искусственной иммунной системы для промышленной автоматизации с использованием современной микропроцессорной техники» нацеленные на решение актуальной проблемы по эффективному внедрению ИИС в реальное промышленное производство РК [4].

2. Постановка задачи

Постановка задачи исследований формулируется следующим образом: необходимо разработать теоретические основы и рассмотреть возможность создания высокоэффективной интеллектуальной технологии управления сложными динамическими объектами промышленной автоматизации и диагностики оборудования в нефтегазовой отрасли на основе самосборки унифицированной искусственной иммунной системы (УИИС) с использованием нейроэндокринной системы (НЭС), способствующей повышению эффективности производства и оптимальному использованию производственных ресурсов.

Самосборка УИИС (состоящей из модифицированных алгоритмов ИИС) осуществляется на основе эффективной обработки динамических многомерных производственных данных для прогнозирования поведения интеллектуальной системы, управления и диагностики оборудования [5]. Нейро - эндокринные подсистемы взаимодействуя с УИИС осуществляют дополнительную регуляцию гомеостаза и обеспечивают сохранение эффективной работоспособности производственного процесса.

3. Методы интеграции нейроэндокринных алгоритмов с искусственной иммунной системой

Разработка биоинсперированных алгоритмов искусственного интеллекта требует глубокой проработки и осмысления процессов, происходящих в биологических системах.

Одним из ключевых определений является понятие гомеостаза, как обеспечение оптимальной жизнедеятельности организма за счёт динамического равновесия и поддержки основных параметров в определённых пределах [6]. В биологических системах регуляторные функции центральной нервной системы, гормональной и иммунной систем работают в тесном взаимодействии и обеспечивают гомеостатическое равновесие организма [7,8]. Доказано большое влияние нероэндокринной составляющей на работу иммунитета (рисунок 1).

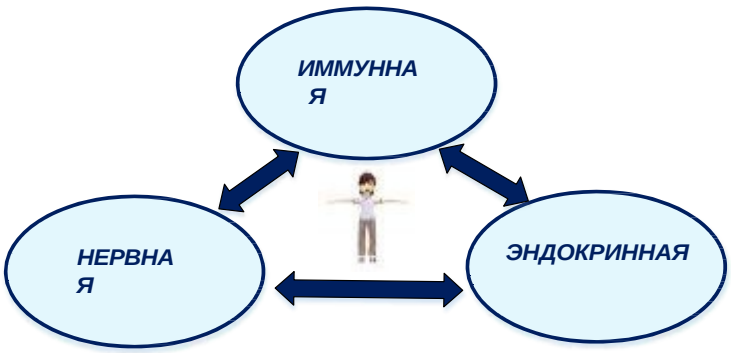


Рис. 1 Структурная схема нейроэндокринно-иммунологическое взаимодействия для обеспечения гомеостаза

Воздействие нейроэндокринной системы на функционирование искусственной иммунной системы определяется многими факторами [9,10], такими как: способность нервной системы влиять на гормональную активность и наоборот гормоны определяют состояние нервной системы посредством связи с нейромедиаторами, наличие специальных рецепторов на иммунокомпетентных клетках позволяют эфективно взаимодействовать с регуляторными контурами нервной и гормональной систем и так далее. С другой стороны существует обратная связь, когда иммунная система, например посредством выделения цитокин может оказывать воздействие на нейроэндокринный статус организма. Таким образом, в настоящее время доказано что нервная и эндокринная системы активно участвуют в работе иммунной системы с использованием различных нейропептидов, гормонов и нейротрансмитеров, а иммунная система оказывает влияние на НЭС с помощью определённых иммунопептидов и иммунотрансмитеров и все три нейроиммунноэндокринные системы обеспечивают динамический гомеостаз биологической системы.

В настоящее время наблюдается рост приложений в различных областях науки и техники на основе биоинсперированного подхода искусственных иммунных систем. В исследованиях [11] предлагается систематический обзор литературы за последние двадцать лет по разработке методологий, моделей и алгоритмов на основе подхода ИИС для решения оптимизационных задач, проблем классификации и кластеризации. Указывается на активное использование этого подхода в системах защиты информации и робототехнике. Пробелы, связанные с внедрением ИИС в реальных современных системах промышленной автоматизации, показывают на перспективность дальнейшего развития иммунных систем в этом направлении и необходимость решения ряда проблем, связанных с интеллектуализацией промышленного производства в нефтегазовом секторе. Иммунные сети представляют собой достаточно мощный вычислительный метод решения задач, возникающих при обработке многомерной информации, а именно, при классификации и моделировании разрозненных производственных данных.

С другой стороны исследования [12] по применению за последнее время искусственных нейронных сетей в нефтегазовой индустрии показали актуальность данного направления искусственного интеллекта для широкого круга задач: разведки, бурения, добычи, и т.д. Например, показаны проблемы в нефтегазовой промышленности, которые заключаются в скоплении больших исторических данных, практически не используемых для анализа и прогнозирования. Искусственные нейронные сети решают такие задачи с хорошей точностью.

Еще одним перспективным направлением искусственного интеллекта является биоинсперированный подход искусственных гормонов, основанный на принципах функционирования биологической эндокринной системы, состоящей из определённых желез (щитовидной железы, паращитовидной железы, надпочечников) и тканей (костной, жировой), которые вырабатывают и выделяют гормоны в кровоток, осуществляющие регулирование, а также координацию важных функций организма, таких как обмен веществ, рост, сон, размножение и т.д. Гормоны посредством специальных рецепторов связываются с клетками мишенями и осуществляют физиологическое воздействие на организм для поддержания гомеостатического равновесия [13].

В последнее время появилось много научных публикаций применения подхода искусственных гормонов для решения разнообразных задач в науке и технике. Например, исследования [14] посвящены рассмотрению различных моделей на основе гормонального подхода для применения в искусственном интеллекте и нейроинженерии. Сигнальные свойства гормонов позволяют с успехом решать параллельно сложные многомерные задачи. В настоящее время выделены основные

направления, в которых применяется данный подход. Прежде всего, это компьютерные системы, в которых используются биоинсперированные принципы функционирования биологической гормональной системы, разработка вычислительных архитектур и программ на их основе. Следующим направлением является разработка языков программирования. Использование сигнальных гормональных интерфейсов для взаимодействия живых систем посредством различных инженерных устройств является еще одной областью, в которой нашли применение эти системы. Интересен подход создания технологий на основе гибридных человеко-машинных взаимодействий. Предложен пример реабилитации больных с повреждением спинного мозга, где гормональные вычисления используются для координации мышц и спинного мозга.

Вопросам создания промышленных инноваций по управлению сложными динамическими системами при реализации актуальной программы «Индустрия 4.0» посвящена статья [15]. Разработана структура управления на основе ортогональной эндокринной нейронной сети и искусственных ортогональных железах для обработки экологических стимулов и генерации искусственных гормонов. Соответствующие значения концентрации гормонов поступают на определённый слой эндокринной нейронной сети и стимулируют адаптационные возможности системы. Экспериментальные исследования показали лучшие результаты по сравнению с аналогами.

В работе [16] создана математическая модель координации ресурсов на производстве с целью уменьшения затрат и снижения штрафов. Предложенный подход с гормональной регуляцией позволяет эффективно и надежно распределять задачи в производственной динамической среде при малой коммуникации для оптимизации процесса. Результаты моделирования показали перспективность данного подхода благодаря способности оперативно реагировать на чрезвычайные ситуации в производственной системе. В исследованиях [17] гормональная система используется для корректировки поведения робота в реальных условиях при пересечении сложного рельефа местности. Результаты экспериментов показали возможности робота адаптировать свое передвижение в сложных условиях, при этом гормональная система помогает реагировать на внешние изменения среды. Статья [18] посвящена решению NP - трудной задачи по созданию оптимизационной модели планирования работы цеха осуществляющего производство полупроводников на основе искусственного гормонального алгоритма. Результаты моделирования с использованием гормонального подхода показали эффективность 5%.

4. Заключение

Таким образом, аналитический обзор научных публикаций согласно поставленной задачи исследования доказал актуальность развития направления промышленного интеллекта на основе биоинсперированных подходов ИИС-НЭС для успешной реализации программы «Индустрия 4.0» и развития новых высокотехнологичных производств с целью повышения эффективности и конкурентноспособности промышленности Республики Казахстан на основе интеллектуализации промышленного производства [19, 20].

Исследования проводятся при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по гранту №AP23486386 «Разработка интеллектуальной технологии самосборки унифицированной искусственной иммунной системы для управления сложными объектами промышленной автоматизации с использованием нейроэндокринной системы» (2024-2026 г.г.).

Литература

1. Шлыков С.В. Применение методов машинного обучения для автоматизации процессов в нефтегазовой отрасли // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. -2023. - №2. - С.46-53 // DOI:10.24412/0131-4270-2023-2-46-53 (дата

обращения 17.04.2024).

2. Шыхалиев Р.Г. Исследования современного состояния применения методов машинного обучения в нефтегазовой отрасли // Проблемы информационных технологий. – 2020. - №2. - С. 52–60 52 // DOI:10.25045/jpit.v11.i2.05 (дата обращения 5.02.2024).

3. Газнюк Л. М., Липич Т. И., Липич В. В., Носков В. А. Гомеостаз как инструмент исследования технологических влияний на здоровье человека // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2022. - № 30(5). - С.753- 760 // DOI:http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2022-30-5-753-760 (дата обращения 27.03.2024).

4. Samigulina G.A., Samigulina Z.I. Development of intelligent technology for complex objects control based on a unified artificial immune system and principles of immunological homeostasis for industrial automation using modern microprocessor equipment: monograph. – Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2023.–196 p.

5. Samigulina G.A, Samigulina Z.I. Development of a unified artificial immune system for complex objects control within the framework of the Industry 4.0 concept // J. Procedia Computer Science. Conf. on ENTERprise Information Systems». - Lisboa, Portugal: Elsevier, 2023. – Vol.219C. – P. 824-831. https://DOI:10.1016/j.procs.2023.01.356 (дата обращения 17.03.2024).

6. Heijen C.J. Receptor regulation in neuroendocrine-immune communication. Current knowledge and future perspectives // Brain, Behav. and Immune. - 2007. -Vol.21. - P.1-8.

7. Elenkov I.J., Wilder R. L., Chrousos G. P., Vizi E.S. The Sympathetic Nerve—An Integrative Interface between Two Supersystems: The Brain and the Immune System // American Pharmaceutical Review. – 2000. - Vol. 52 (4). - P. 595-638.

8. Татакрин А.А., Татаркина Н.Д. Андрюков Б.Г. Нейроиммуноэндокринные взаимодействия в системе межклеточной функциональной многоуровневой регуляции гомеостаза // Здоровье. Медицинская экология. Наука. - 2010. - №3(43). - С.13-17.

9. Самотруева М.А., Ясенявская А.Л., Цибизова А.А., Башкина О.А., Галимзянов Х.М., Тюренков И.Н. Нейроиммуноэндокринология: современные представления о молекулярных механизмах // Иммунология. – 2017. - №38(1). – С. 49-59 // DOI: 10.18821/0206-4952-2017-38-1-49-59 (дата обращения 18.04.2024).

10. Klein J.R. Dynamic Interactions Between the Immune System and the Neuroendocrine System in Health and Disease // Front. Endocrinol. – 2021. - Vol.12(655982) // doi:10.3389/fendo.2021.655982 (дата обращения 06.03.2024).

11. Hasib N., Rizvi W., Katiyar V. Artificial Immune System: A systematic literature review // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2023. - Vol.101(4). - P.1469-1486.

12. Alkinani H., Tuama A.T., Al-Hameedi, Dunn-Norman S., Flori R. Applications of Artificial Neural Networks in the Petroleum Industry: A Review // SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference. – 2019 // DOI:10.2118/195072-MS (дата обращения 07.04.2024).

13. Knight J. Эндокринная система I: обзор эндокринной системы и гормонов // Nursing Times. – 2021. – Vol. 117 (5). – P. 38-42.

14. Vallverdú J., Talanov M., Leukhin A., Fatykhova E., Erokhin V. Hormonal computing: a conceptual approach // Front. Chem. – 2023. – Vol.11 // https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1232949 (дата обращения 19.02.2024).

15. Milovanović M., Oarcea A., Nikolić S., Djordjević A., Spasić M. An Approach to Networking a New Type of Artificial Orthogonal Glands within Orthogonal Endocrine Neural Networks // Appl. Sci. – 2022. - Vol.12(11), 5372 // https://doi.org/10.3390/app12115372 (дата обращения 05.04.2024).

16. Gu W., Tang D., Zheng K. Manufacturing resources coordination organization and tasks allocation approach inspired by the endocrine regulation principle // IET Collaborative Intelligent Manufacturing. - 2020. – Vol.2, Issue 2. - P.37-44 // https://doi.org/10.1049/iet-cim.2019.0031(дата обращения 28.03.2024).

17. Haomachai W., Teerakittikul P. An Artificial Hormone System for Adaptable Locomotion in a Sea Turtle-Inspired Robot // Proceedings of 4th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE). – IEEE, 2019 // DOI:10.1109/ICCRE.2019.8724369 (дата обращения 14.02.2024).

18. Elmenreich W., Schnabl A., Schranz M. An Artificial Hormone-based Algorithm for Production Scheduling from the Bottom-up // Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence. – SciTePress, 2021. – Vol. 1. – P.296-303 // DOI:10.5220/0010243902960303 (дата обращения 18.03.2024).

19. Закон РК «О промышленной политике» от 27 декабря 2021 года №86-VII ЗРК.

20. Самигулина Г.А., Самигулина З.И. Текущее состояние и возможности развития промышленного искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли на основе нейроэндокринно-иммунологического взаимодействия // Проблемы автоматизации и управления. – 2024. - № 3. – С. 44-50.

NEURAL NETWORK, GRADIENT DESCENT AND METHODS OF SELECTION OF WEIGHT COEFFICIENTS

Durbek Khalilov
Ferghana branch of Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khorezmi, Uzbekistan

Abstract. *The present work is devoted to the problems of determining the parameters of neural networks. The methodology, algorithm and solution paths of finding the gradient descent, one of the main parameters in a neural network during machine learning, are presented. It is very important to minimize the error of finding the weight parameters of the neuron.*

Keywords. *Neuron, network, gradient, gradient descent, neural network, weight parameters of neuron.*

1. Introduction

Nowadays it is not a secret that artificial intelligence is being actively implemented in various spheres of human activity. Representation of artificial intelligence today, without neural networks is impossible. To understand the methods of development of key nodes in the work of neural networks and the creation of artificial intelligence can be considered on a simple example of solving the mathematical apparatus of linear regression. It is when working with linear regression that our goal is to find the best regression line that is an informative expression [1]. If this regression line is expressed by formula 1

$$f(x) = a_0 + a_i * x \tag{1}$$

then we must find the coefficients a0 and a1. The result predicted using these constants should be as close as possible to the actual value presented in the data set, that is, the difference between the predicted value and the actual value should be as small as possible. Let's call this discrepancy an error. The main purpose of the value function is to determine this error.

With the help of the value function, we can determine how correctly the regression coefficients (a0 and a1) were found, i.e. find the error (discrepancy) between these coefficients and the actual values. For this purpose, we use the following RMS error function as a value function:

$$J = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(f(x_i) - y_i \right)^2 \tag{2}$$

where, m is the number of elements in the dataset, y_i is the actual value (symbolic value) of the i-th array of the dataset, f (x_i) is the predicted value in row i. Let us decompose the function f (x_i) in these 3 formulae as a linear regression, the following formula is obtained:

$$J = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(\left(a_0 + a_i * x_i \right) - y_i \right)^2 \tag{3}$$

The farther the predicted value is from the actual value, the larger the RMS error function is. Depending on the error calculated by the RMS error function, we have to update the regression coefficients (a_0 and a_1), which means better prediction and error reduction.

The gradient descent (falling) method reduces the error by updating the regression coefficients. Usually, at the beginning of the learning process, the coefficients (a_0 and a_1) are assigned a random value.

We then compute the value function *(J)* and find the error. Our main goal is to minimize the value function *(J)* depending on the value of the error, and in the case of linear regression, minimize the mean-square function (3):

$$minimization \sum_{i=1}^{m} \left(f\left(x_i\right) - y_i \right)^2 \tag{4}$$

If we decompose the prediction value using the above formula $f(x_i)$, we get the following formula:

$$minimization \sum_{i=1}^{m} \left(\left(a_0 + a_i * x_i\right) - y_i \right)^2 \tag{5}$$

At the same time, we can reduce the error by assigning the coefficients (a_0 and a_i) an optimal value. So, how do we determine these optimal values? To do this, we can obtain the derivative of the function value with respect to the coefficients (a_0 and a_i).

$$J = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(a_0 + a_i * x_i - y_i \right)^2 \tag{6}$$

$$\begin{cases} \dfrac{\delta J}{\delta a_0} = \dfrac{2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(a_0 + a_1 * x_i - y_i \right) \rightarrow \dfrac{2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(f\left(x_i\right) - y_i \right) \\ \dfrac{\delta J}{\delta a_1} = \dfrac{2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(a_0 + a_1 * x_i - y_i \right) * x_i \rightarrow \dfrac{2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(f\left(x_i\right) - y_i \right) * x_i \end{cases} \tag{7}$$

After calculating the derivatives (a_0 and a_1), we can proceed to update the coefficients, using the following formula:

$$\begin{cases} a_0 = a_0 - \dfrac{\propto * 2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(f\left(x_i\right) - y_i \right) \\ a_1 = a_1 - \dfrac{\propto * 2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(f\left(x_i\right) - y_i \right) * x_i \end{cases} \tag{8}$$

$$\begin{cases} a_0 = a_0 - \dfrac{\propto * 2}{m} \sum_{i=1}^{m} \left(\left(a_0 + a_1 * x_i - y_i\right) - y_i \right) \\ a_1 = a_1 - \dfrac{\propto * 2}{m} \sum_{i=1}^{m} \sum_{i=1}^{m} \left(\left(a_0 + a_1 * x_i - y_i\right) - y_i \right) * x_i \end{cases} \tag{9}$$

$\propto$ - in the above formula - is the learning level, and the coefficient determines the magnitude of the change in the renewal process, that is, the higher the learning level, the larger the renewal coefficient. But at the same time, the probability of losing the optimal value will be just as high. The lesser the learning level, the lesser the probability of losing the optimal value, but many steps will have to be taken to the optimal value. Hence, this value is an optimizable (coordinated) parameter.

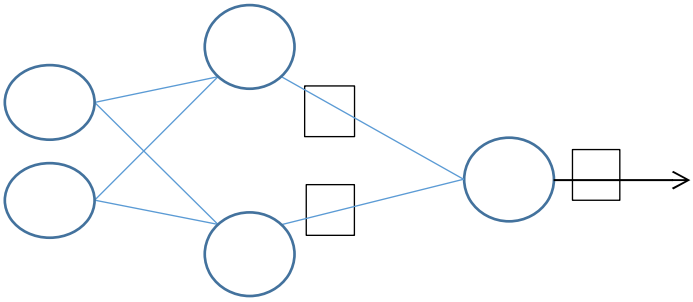


Figure 1. A simple neural network

According to formula 9, the coefficient values are updated in parallel. For example, imagine that step 10 is in progress. The values of coefficients a_0 and a_1 in the formula, when we update coefficient a_0, we use the values from step 9. Even when we go to update coefficient a_1 after updating coefficient a0, we use the values from step 9 in the values of coefficients a_0 and a1 in formula 9.

2. Methods

How do we implement this in a neural network? Let's consider a simple neural network consisting of 2 inputs, 2 hidden and one output neurons.

If we add up x_1+x_2, we get the value at the adder, and if we first multiply x_1 and x_2 by their weighting factors w_1 and w_2 respectively, we get and O

$$\Sigma_3 = x_1 * w_1 + x_2 * w_2 \tag{10}$$

where: Σ_1 is the weighted sum.

Further, each sum Σ enters the activation function, where it is transformed and this numerical value is transmitted further along the network to the output neuron.

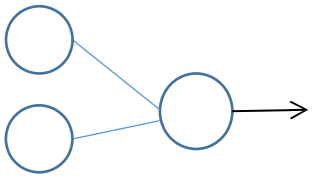


Figure 2. Relationship between input and output values of the neural network

Let's assume that this value is denoted by O_1, but for x_1 and x_2 the data corresponds to some correct answer, which should be given by the neural network. But for some reason our network gives us values not T (from the word - True), but the answer O, and we need to adjust the weighted wrong coefficients O_1 and O_2 so that the answer becomes correct.

According to mathematics, such a method is called GRADIENT "DESCENT". Let's consider this question in detail. There is such a word in programming and well known to users as ERROR - error and we will denote it with E. Then we can define it as the difference of the true T from the received O.

$$E = T - O \tag{11}$$

This error indicates a mistake made by our neural network.

Disassembling the dependence of this function in the form of a graph may lead to a wrong understanding and interpretation of the task at hand. What does it mean? If we plot the graph of this function, it will take the form of a straight line intersecting the abscissa axis at point *A*. The value of *OA* indicates the values of the error, i.e. how much we deal with the error. In other words, we need to bring point *A* close to zero on the abscissa axis.

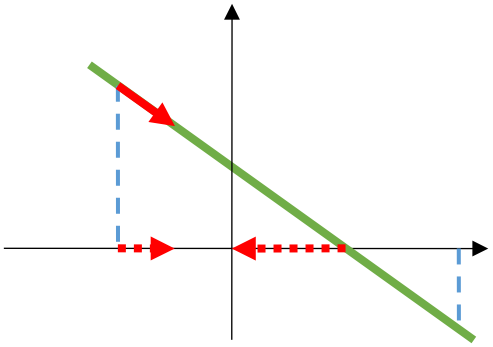


Figure 3. Incorrect interpretation of gradient descent

3. Results and Discussions

If our answer is negative, then it is at point *B*. Therefore, it is necessary to bring point *B* closer to zero, and this means to move along the line of point *C*, i.e., to descend to point *A*. At the point *D* there is an incomprehensible dilemma, which consists in the fact that it is possible to increase the error for approaching to zero.

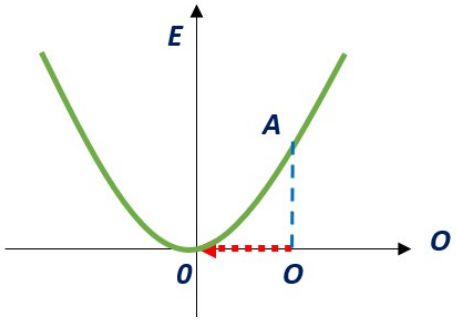


Figure 4. A new interpretation of gradient descent

To solve this problem, there is a very simple solution, we make an amendment to the formula for determining the value of the error by squaring the right side of the equation.

$$E = (T - O)^2 \tag{12}$$

In this case all errors will be positive. Naturally, the new graph will look like a parabola with vertices upwards. So, we need to bring point A closer to zero, i.e. reduce the error to zero O_K - a specific error.

To perform these calculations, since the computer does not understand drawings, we need a different mathematical apparatus. Consequently, we need another way to understand how this answer will change in which direction, more or less. Clearly, we cannot do without the derivative here, as it will allow the machine to understand how to navigate the graph.

In other words, the derivative is the rate of change of the function, i.e. the error from the answer related to some function.

$$E = f(O) \tag{13}$$

f is some law by which the error depends on the answer. Two variables are related by some law and this law can be written as:

$$f(j) = (T + O)^2 \tag{14}$$

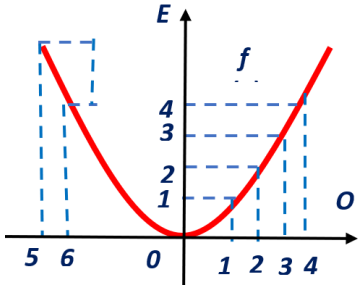


Figure 5. Another interpretation of gradient descent

The figure shows that intervals 1-2 and 3-4 indicate the rate of change of the function, with 3-4 being smaller than 1-2. They can take both positive and negative values. On the section *O÷f(+)* the function grows ↗, and on *f(-)÷O* it decreases ↘, i.e. the more we move along the *0O* axis, the intervals (in the left part) decrease, and in the first part they increase [2].

This is all in the figure. And on the formula

$$f = f' \tag{15}$$

where, *f'* is the product of the rate of change.

That means if

$$f(O) = (T - O)^2 \tag{16}$$

then

$$f'(O) = 2(O_к - T)^2 \tag{17}$$

and that the computer can easily calculate.

Suppose the neural network has given the answer $O_к$ - specific, we want to find out a new $O_н$ at which the error will be smaller. The new $O_н$ answer can be found by the formula

$$O_н = O_к - f'(O_к) * n \quad (18)$$

where, n is some coefficient, which we have so far n=1.

Let's assume by the graph the value *1÷2=0,5; 3÷4=2;* and *5÷6=-1;* i.e.

$$O_н = O_к - f'(O_к) * 1 = O_к - 2 * 1 \quad (19)$$

that this result shows that to determine $O_н$ error the new value *3÷4=f'(*$O_к$ *)* must be shifted towards the value zero by two units, thus, we bring the error value closer to zero.

Let us recalculate for *5÷6*

$$O_н = O_к - f^{'(O_к)} * 1 = O_к - (-1) * 1 = O_к + 1 \quad (20)$$

In this case, as well as in the previous one, we deal with the shift of the error to zero.

Let's look at a specific example.

$$E = f(O) \quad (21)$$

suppose

$$f(O) = O_к^2 \quad (22)$$

then

$$f'(O_k) = 2 * 0 \quad (23)$$

suppose $O_k = -4$; $O_н = O_к - f'(O_k) * n$; also suppose that, $n = \frac{3}{4}$; then $O_н = -4 — \frac{8*3}{4} = 2$; so $O_н = 2$;

Further the training is repeated, let's determine the value of $O_к = 2$;

$f(O_к) = 4$; $O_н = O_к - f'(O_k) * n$; $O_н = 2 - (4 \frac{)*3}{4} = 1$; so $O_н = 1$;

Next step.

$$O_к = -1; f(O_к) = 1; f'(O_k) = 2 * 1; O_н = O_к - f'(O_k) * n; O_н = -1 - (-2 \frac{)*3}{4} = \frac{1}{2};$$

or

$$O_н = \frac{1}{2}.$$

$$E = f'(O) = (T - O)^2 \quad (24)$$

$$O = f_{AKT}(\Sigma_3) \quad (25)$$

$$\Sigma_3 = \sigma(w_3 w_4 O_1 O_2) \quad (26)$$

$$E = f(\sigma(w_3 w_4 O_1 O_2)) \tag{27}$$

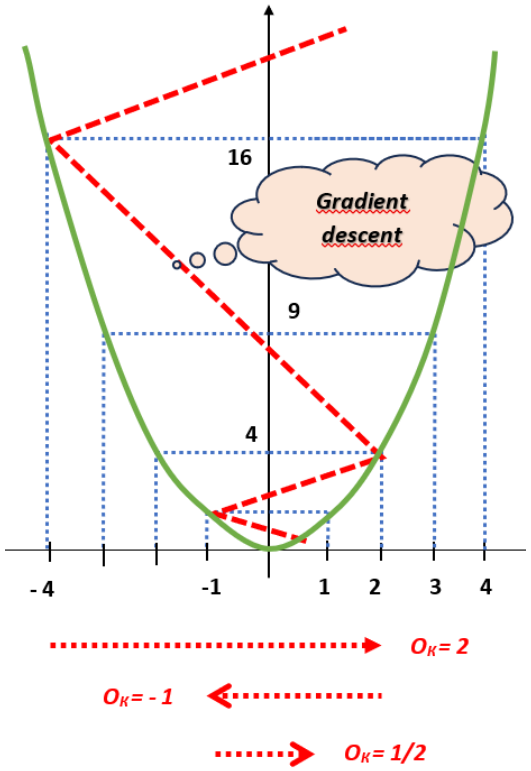


Figure 6. Leap-shaped gradient descent

New weighting factor values

$$w_3 \to w_н = w_к - G'_{нw_3} * n \tag{28}$$

$$w_4 \to w_н = w_к - G'_{нw_4} * n \tag{29}$$

where n is the learning rate or learning rate coefficient, $G'_{нw_3}$ и $G'_{нw_4}$ – are the rate of change of this law – $f(f_{AKT}(\sigma\ldots))$. Using this formula, we calculate the new weighting factors $w_н$ for $w_3 \wedge w_4$. [3].

It should be taken into account that this derivative now depends not on all variables O_1 and O_2 but only on W_3 and W_4. So, our derivative shows how it affects the rate of change of G.

If it affects weakly, then accordingly the rate of change of the function will be small, if it affects strongly, on the final error, then the rate of change, i.e. the derivative will be large so the more the coefficient affects the error, the more we change it according to this formula. Here is this G partial derivative legitimately with W multiplied by some of our coefficient n.

But if you think carefully, the value of O_1 and O_2 somewhere also depends on the weighting values of W_3 и W_4 respectively.

Earlier we wrote that $O_3 = f(\Sigma_3)$; $O_1 = f(\Sigma_1)$ by analogy we can describe

$$\Sigma_1 = \sigma\left(w_1 w_2 x_1 x_2\right) \tag{30}$$

and value

$$E = G\left(w_1 w_2 \ldots w_i x_1 x_2 \ldots x_i\right) \tag{31}$$

Thus now $x_1 x_2 \ldots x_i$ – we cannot change. In other words, now the error T corresponds to the initial input values.

$$\begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{matrix} \Bigg| T \tag{32}$$

If you remember the step size we took $n = 3/4$ let us now take $n = 1$ as the unit. In this case, according to the formula, the error will be as follows:

$$E = f\left(O_к\right) = O_к^2 \tag{33}$$

and the derivative is the rate of change: $f'\left(O_к\right) = \left(O_к^2\right)' = 2 * O_к$; i.e. $O_к = -4$; in this case, a new $O_н = O_к - f'\left(O_к\right) * n$. Learning rate coefficient $O_н = -4 - \left(-8\right) * 1$ That's how we got -8 in the formula, and this minus $O_н$ is the second what $O_н = 4$ i.e. we jumped to this value +4. The error is still 16 and the funny thing is that when we try to make the next step of this gradient descent it will lead again to -4 and we get a vicious circle. (jumping back and forth).

To understand and visualize the descent of the offset or the approach of the error to zero, we recommend you to look at the animation page on the Internet where this picture is illustrated at the link.

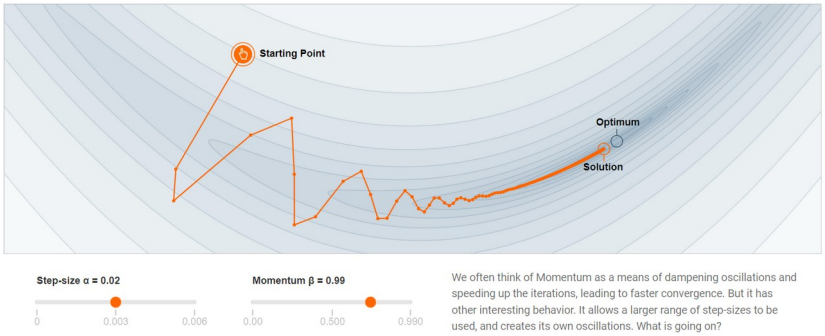


Figure 7. Example by step-by-step animation-illustration of a gradient descent pattern (http://distill.Pub/2017/momentum)

There is a picture that depends on two variables, we have x (horizontal) and y (vertical) coordinates and some error depends on them and it is shown in the picture by a colored area. It can be represented as a kind of hollow, where the color is light, this is the height, where the error is large, and where the color is darker, these are the values of the function, where the error is smaller

We want to go from a starting point, we have some starting values of x and y or our weight coefficients, and we want to go from that point down to where the error is minimized. For jumping

as we parsed and counted, we're going to change our x and y, but α (alpha) is the step size, this coefficient n adjusts our step size.

4. Conclusions

If we increase it, the step becomes larger, if we decrease it, the training steps become smaller. This is nothing else but (leaning raid), i.e. the coefficient that the programmer adjusts when deciding how to train the neural network. A lot depends on it. If you make it relatively small, the curve becomes quite smooth, beautiful, tends to the optimum, but does not reach it. At this very moment (for example, 100 steps) we have not reached the optimum.

If we increase the step, we get closer and closer to the optimum, but at this point the discontinuity of the curve trajectory increases. If the step is increased more than the measure too much, the neural network will not be able to learn because there will be no convergence.

To summarize, when performing gradient descent, we need to repeat the steps expressed in formula 10 several times. In doing so, each time we obtain new coefficients and calculate the error using these coefficients to get an idea of how optimal they are.

To summarize the above, we can give the following algorithm for solving linear regression with one variable:

- ✓ Determining the regression formula of a linear function;
- ✓ Determining the value function formula;
- ✓ Determining the gradient incidence formula;
- ✓ Determining the parameters (training level - α, number of steps) for gradient descent;
- ✓ Executing the gradient descent a certain number of times (by a predetermined number of steps). This involves updating the coefficients at each step and calculating the error using a value function [5].

At the end we would like to draw conclusions on the results obtained:

1. We accepted the values of the parameter T of the correct answer
2. Calculated and developed a methodology for determining the error for the neural network
3. Determined and calculated the partial derivatives of G for this error
4. Calculated for each weighting factor W
5. Using the formulas, determined how much to change the parameters to achieve the optimum.
6. This is one step of gradient descent (shifting towards the reduction of the error value).

Thus, we were able to select new coefficients for the next step.

References

1. *S. Komolov, Sh. Rakhmatov* Fundamentals of Artificial Intelligence. Machine learning. Izhod NAShR Publishing House. p.104. Tashkent, Uzbekistan (2022)

2. https://yandex.ru/video/preview/8865456527616071991

3. *Baradzei, L.T., Borisov, A.S., Cherdyntseva, K.V., ...Yokoi, K., Ohsawa, A.* Observation of very high energy cosmic-ray families in emulsion chambers at high mountain altitudes (I) Nuclear Physics, Section B, 370(2), p. 365-431, (1992).

4. *Borisov, A.S., Cherdyntseva, K.V., Guseva, Z.M., ...Yokoi, K., Ohsawa, A.* Observation of a high-energy cosmic-ray family caused by a Centauro-type nuclear interaction in the joint emulsion chamber experiment at the Pamirs. Physics Letters B, 190(1-2), p. 226-233, (1987)

5. *D.A.Khalilov and others,* E3S Web of Conferences 508, 04011 (2024), https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450804011

БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ В СРЕДЕ R

Шаяхметова А.С., Ахметова А.М., Абдилдаева А.А., Литвиненко Г.Г., Бисаринова А.Т.

[1]Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
[2]Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Искусственный интеллект прочно вошёл в жизнь исследователей проблем в различных областях науки, экономики, общественной жизни и производства. Наиболее популярным направлением использования искусственного интеллекта с начала 2000 годов стало использование в исследованиях аппарата байесовских сетей. Байесовские сети находят широкое применение в различных областях: в экономике, в психологии, в социологии, в теории управления государством, в медицине, в генетике, при изучении различных сложных физических процессов, и т.д. Вероятностные модели явно учитывают неопределённость и имеют дело с нашим несовершенным знанием мира. Такие модели имеют фундаментальное значение в машинном обучении, поскольку наше понимание мира всегда будет ограничиваться нашими наблюдениями и пониманием.*

Ключевые слова: *Искусственный интеллект, Байесовские сети, Вероятностные модели, среда R*

В современном мире большинство проблем требуют от человека автоматизированной системы рассуждений: восприятия имеющейся информации, возможность делать выводы, выбирать стратегию и тактику решения возникающих задач. Методы, основанные на моделях, являются фундаментальным компонентом во многих областях. Модели бывают разных видов [1]. При этом многие проблемы имеют некоторую совокупность неопределённостей. Неопределённость представляется неизбежным аспектом большинства реальных проблем. Данные неопределённости возникают по ряду объективных причин [2]. Например:

- Главная на наш взгляд причина. Сознание человека в принципе не в состоянии максимально адекватно оценить процессы в окружающем нас мире. Мы пытаемся понимать мир с помощью моделей, возникающих в нашем сознании. Строя более адекватные модели, человек развивается. Но впереди путь длиной в бесконечность. Сегодня (и завтра) расхождения между моделью и реальностью – объективная реальность. Осознавая объективность данных расхождений, при построении модели необходимо пытаться учитывать их. Наиболее удобный и достаточно хорошо развитый механизм учёта расхождений – теория вероятностей.
- Неточные входные данные;
- Неясное понимание решаемой проблемы;
- Недостаточно чёткая постановка задачи;
- Наши наблюдения часто зашумлены - даже те аспекты, которые наблюдаются, часто наблюдаются с некоторой ошибкой;
- И т.д.

Разрабатывая модели для решаемых проблем, мы часто видим наличие различных причинно-следственных связей. Конечно, для каждой решаемой задачи можно разработать алгоритмы и написать программу [3]. Но это неудобно по нескольким причинам:

- Требует значительных затрат времени;
- Большие объёмы работ;

- Полученная система, хотя и может быть вполне успешной в решении своей конкретной задачи, часто бывает очень хрупкой. Если наше приложение изменится, в программе могут потребоваться значительные изменения;
- Этот подход довольно ограничен, поскольку трудно извлечь уроки из одного успешного решения и применить его к другому.

Исчисление теории вероятностей предоставляет нам формальную основу для рассмотрения множества возможных исходов и их вероятностей [4]. Определяется набор взаимоисключающих и исчерпывающих возможностей, каждой из которых присваивается вероятность - число между 0 и 1, так что общая вероятность всех возможностей равна 1. Эта система позволяет нам рассматривать варианты, которые маловероятны, но не невозможны, не сводя наши выводы к бессодержательному перечислению всех возможных вариантов.

Вероятностные модели очень раскрепощают [5]. Если в более жёстком формализме нам пришлось бы перечислять все возможные варианты, здесь мы можем часто убрать множество раздражающих исключений, вводя исходы, которые примерно соответствуют "происходит что-то необычное". На самом деле, как мы уже говорили, этот тип приближения часто неизбежен, поскольку мы лишь в редких случаях можем дать детерминированное описание поведения сложной системы. Вероятностные модели позволяют нам сделать этот факт явным, и поэтому часто дают модель, которая более адекватно описывает реальность.

Сложные системы характеризуются наличием множества взаимосвязанных аспектов. Данные аспекты мы связываем с некоторыми переменными. Это позволяет нам удобно рассуждать о взаимодействиях данных аспектов [6].

Теория графов – удобный механизм, дающий нам хорошие возможности для рассуждений о качественных и количественных связях между переменными. На рисунке 1 показана зависимость переменной C от переменной A при условиях B и D. Это записывается как:

$C \perp\!\!\!\perp A \mid B, D$

Можно также сказать: переменные B и D независимы при условиях A и C.

Графический язык использует структуру [7], присутствующую во многих распределениях. С помощью графов мы можем корректно отразить тот факт, что каждая переменная реально зависит лишь от нескольких других переменных. Объёмы вычислений при этом значительно сокращаются.

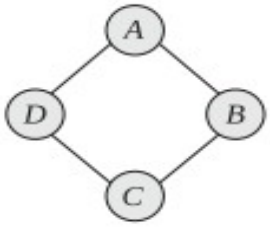


Рисунок 1. Зависимость между A и C

Для решения подобных задач существует хорошо разработанный аппарат – Байесовские сети.

Ядром байесовского сетевого представления является направленный ациклический граф (DAG) G, узлы которого являются случайными величинами в нашей области, а ребра которого интуитивно соответствуют прямому влиянию одного узла на другой.

При построении вероятностных моделей обычно необходимо представить совместное распределение P по некоторому набору случайных величин $X = \{X_1, \ldots, X_n\}$. Даже в самом простом случае, когда эти переменные имеют два состояния (например true, false),

совместное распределение требует задания $2^n - 1$чисел. Даже при n = 100 достаточно большим. Возникает много проблем, основные из которых:

- Невозможно расположить данные в памяти;
- Расчёты занимают необозримо много времени;
- Эксперты физически не могут предоставить такой объем входных данных;
- Эксперты не могут адекватно осознать взаимосвязи между переменными;
- Для обучения модели требуется невероятно большое количество данных.

Какие существуют возможности решить данные проблемы? Первое, что приходит в голову – конкретика решаемой проблемы позволяет значительно упростить модель. Учитывая конкретику, чисел будет значительно меньше $2^n - 1$. Количество связей между переменными обычно уменьшается во много раз. Необходим инструмент для качественной работы с моделями для решения данных задач. Общепризнанным таким инструментом являются графовые модели. Графы позволяют качественно упростить модель решаемой проблемы. Таким образом мы пришли к пониманию эффективности использования графовых вероятностных моделей [5].

Структура байесовской сети

Байесовская сеть представляет совместную вероятность множества n (дискретных) переменных X_1, X_2, …, X_n в форме направленного ациклического графа (DAG, НАГ) и множества таблиц условных вероятностей. Для каждого узла, соответствующего переменной, имеется связанная с ним таблица условных вероятностей, которая содержит вероятность каждого состояния переменной с учётом его родителей в графе. Структура сети подразумевает наличие множества утверждений об условной независимости, придающее мощь этому представлению [6].

При работе с байесовскими сетями важное значение имеют вероятностные характеристики переменных, а также вероятностные характеристики различных комбинаций переменных сети.

Существуют ряд программных пакетов для работы с байесовскими сетями. В данной работе рассматривается пакет программной среды R [7].

Пакет gRain

Среди пакетов программной среды R, ориентированных на работу с байесовскими сетями можно выделить пакет – gRain. Пакет gRain разработан Søren Højsgaard. Последние изменения были сделаны в октябре 2016 года. Для понимания возможностей пакета gRain рассмотрим команды данного пакета. Пакет содержит следующие команды:

Команды пакета gRain

compile-cpt	Компилировать таблицы условной вероятности / клики, как шаг предварительной обработки для создания байесовской сети.
cptable	Создание условных таблиц вероятности.
evidence-object	Функции определения и манипулирования свидетельствами.
extract-cpt	Извлечь список таблиц условной вероятности и список потенциальных кликов из данных.
finding	Установить, извлечь и убрать конец в байесовской сети. Описанные здесь функции сохраняются только для обратной совместимости.
grain-compile	Компилирует байесовскую сеть. Это означает создание дерева соединений и установление потенциальных кликов.
grain-evi	Установка и удаление свидетельств в объектах.
grain-evidence	Устанавливать, обновлять и удалять свидетельства.
grain-generics	Общие функции для пакета gRain.
grain-main	gRain создает графическую сеть.
grain-predict	Делает предсказания (либо как наиболее вероятное состояние, либо как

	условные распределения) переменных, обусловленных определением (свидетельствами) других переменных в сети.
grain-propagate	Распространение относится к калибровке кликов дерева соединений, чтобы потенциал клики был согласован.
grain-simulate	Имитировать данные из сети.
load-save-hugin	Эти функции могут загружать чистый файл, сохраненный в формате «Hugin», в R и сохранять сеть в R как файл в формате «Hugin».
logical	Создание условных таблиц вероятности на основе логических выражений AND и OR.
mendel	Создать таблицу условной вероятности для менделевской сегрегации.
querygrain	Запросить сеть, т. е. получить условное распределение набора переменных - возможно (и обычно) заданных свидетельств для других переменных.
repeatPattern	Повторяющиеся шаблоны — это полезная краткая спецификация для байесовских сетей.
set-jevidence	Повторяющиеся шаблоны — это полезная краткая спецификация для байесовских сетей.
update.CPTgrain	Обновление байесовской сети.

Пакет bnlearn

Содержит набор алгоритмов. В скобках указаны библиотечные названия алгоритмов и методов. Каждый алгоритм имеет собственную R-функцию, название которой стоит в скобках. Все алгоритмы работают только в случае, когда, либо все переменные дискретны (представлены факторами в R), либо все переменные вещественны (представлены числовыми массивами). На вход алгоритму обучения следует подавать наборы значений переменных на обучающей выборке в виде фрейма данных (data frame) [8].

Пакет bnlearn предоставляет пользователю класс bn, который содержит описание байесовской сети. Пакет содержит:

bn$learning	Информация о методе обучения сети.
bn$nodes	Описание переменных.
bn$arcs	Описание дуг.

Алгоритмы, основанные на анализе условной независимости (constraint-based).

- Grow-shrink (gs).
- Incremental association (iamb).
- Fast incremental association (fast.iamb).
- Interleaved incremental association (inter.iamb).
- Max-min parents and children (mmpc).

Алгоритмы, основанные на мере качества сети (score-based) [9].

- Hill-Climbing (hc): Жадный поиск в пространстве ориентированных графов.
- Гибридные алгоритмы.
- Max-Min Hill-Climbing (mmhc): алгоритм Hill-Climbing (hc), примененный к ограниченному пространству байесовских сетей, ограничения формируются алгоритмом Max-Min Parents and Children (mmpc).
- Restricted Maximization (rsmax2): общий алгоритм, позволяет выбирать метод ограничения пространства байесовских сетей, выбирает лучшую при помощи Hill-Climbing.

Таким образом, байесовские сети являются ориентированными графовыми моделями, которые представляют совместную вероятность множества случайных переменных.

Некоторые модели, такие как байесовские классификаторы и скрытые марковские модели, являются частными случаями (вариантами) байесовских сетей.

Работа выполнена в рамках грантового финансирования AP19679142 «Поиск оптимальных решений в байесовских сетях в моделях с линейными ограничениями и линейными функционалами. Разработка алгоритмов и программ» (2023-2025гг.) МНВО РК.

Литература

1. Barber David; Bayesian Reasoning and Machine Learning [Книга]. - [б.м.] : Cambridge University Press, 2020. - стр. 735. - ISBN: 9780521518147 ISBN-10: 0521518148.
2. Murphy K. Machine Learning. A Probabilistic Perspective [Книга]. - [б.м.] : Mit Press, 2012. 1104 с. - ISBN:978-0-262-01802-9.
3. Торопова А.В. Байесовские сети доверия: инструменты и использование в учебном процессе // Компьютерные инструменты в образовании. – 2016. - № 4. – С. 43–53.
4. Литвиненко Н.Г., Литвиненко А.Г., Мамырбаев О.Ж, Шаяхметова А.С. Байесовские сети. Теория и практика. [Книга]. - Алматы: Институт информационных и вычислительных технологий. - 2020. - 197 с. ISBN 978-601-332-888-1.
5. Сукар Луис Энрике; Вероятностные графовые модели. Принципы и приложения [Книга] / перев. А. Перевод с английского Снастин. - Москва: ДМК Пресс. – 339 с. ISBN: 978-5-97060-874-6.
6. Тулупьев А. Л., Сироткин А. В., Николенко С. И. Байесовские сети доверия: логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах. [Книга]. - СПб: Изд-во СПбГУ. - 2009.
7. David N Barton, Sakari Kuikka, Olli Varis Bayesian networks in environmental and resource management // Integrated Environmental Assessment and Management, 2012. https://doi.org/10.1002/ieam.1327
8. Уткин Л. В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации [Книга]. - СПб: Наука, - 207 с.
9. Heckerman, D. A Tutorial on Learning with Bayesian Networks [Книга]. - Netherlands: Springer. - 2008.

Шаяхметова Асем Серикбаевна – PhD, ассоциированный профессор Казахского Национального университета им. аль-Фараби; 050000, Алматы, Казахстан

Ахметова Ардак Мергембаевна – PhD, старший преподователь Казахского Национального университета им. аль-Фараби; 050000, Алматы, Казахстан

Абдилдаева Асель Асылбековна - PhD, ассоциированный профессор Казахского Национального университета им. аль-Фараби; 050000, Алматы, Казахстан

Литвиненко Геннадий – старши научный сотрудник Казахского Национального университета им. аль-Фараби; 050000, Алматы, Казахстан

Бисаринова Айгуль Туктиковна – PhD, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

УМНЫЙ ДОРОЖНЫЙ ЗНАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Тошматов Шерзод[1], Авезова Нилуфар[2], Мамадалиев Нурилло[1]
[1]Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Фергана, Узбекистан
[2]Ферганский политехнический институт, Фергана, Узбекистан
E-mail: men.mna74@gmail.com

Аннотация. *Приведен анализ функционала и особенностей работы умного дорожного знака по ограничению скоростей автотранспортных средств с использованием солнечной энергии. Представлены принцип действия умных дорожных знаков ограничения скоростей и описание модуляции характеристик по обнаружению движущихся автотранспортных средств. Приводятся характеристики разработанных солнечных панелей, режим их работы и показатели обеспечения энергоэффективности. Предложены алгоритм работы, функциональные возможности и конструктивные составляющие для проектирования умных дорожных знаков с использованием солнечной энергии.*

Ключевые слова: *«Умный дорожный знак», солнечная энергия, модуляция, автотранспортные средства, солнечный панель, энергоэффективности.*

Введение. В условиях необходимости обеспечения экологической устойчивости окружающей среды и сбережения энергоресурсов использование альтернативных источников энергии в дорожно-транспортной инфраструктуре приобретает особую актуальность. При этом использование солнечной энергии является более выгодным видом энергии с точки зрения стоимости, экологической чистоты и неисчерпаемости.

Преимущество использования солнечной энергии заключается в том, что применяемые солнечные панели не вызывают парниковый эффект и не загрязняют атмосферный воздух, в связи с чем теплые пары не проникают в нижние слои атмосферы. Дорожные инфраструктурные средства и устройства с использованием солнечной энергии имеют эффективные экологические показатели, длительный срок работы, а также минимальные затраты при эксплуатации.

В данной работе авторами предложено устройство **«**Умный дорожный знак**»**, с энергопитанием из солнечных фотоэлектрических панелей, которое обеспечивает соблюдение правил скоростного режима на крупных автомагистралях городов и поселков, социальных объектах, детских садах, школах, информирует водителей быть бдительными.

Постановка проблемы. Автотранспортные средства обеспечивают перевозку пассажиров и грузов, а также являются источником дорожно-транспортных прооишествий. В этой связи для обеспечения их эффективной эксплуатации и безопасности движения необходимо предусмотреть регулирование скоростей на основе инновационных дорожных знаков.

Результаты исследования. Нами разработано дорожное устройство, которое измеряет реальнюю скорость на расстоянии 300-150 м. Данное устройство содействует предотвратить серьезные дорожно-транспортные происшествия, заранее предупредив водителей и помогая предотвратить нарушения, будучи видимыми с расстояния 800 м на прямой дороге.

На большом мониторе приборной панели (зелено-красными) цветами, привлекающими человеческий глаз, при превышении скорости транспортных средств установленных параметров, приборная панель станет красной и начнет выдавать интерактивное предупреждение в виде смайлика, как указано на рис 1.

Отметим, что данная наиболее простая процедура помогает предотвратить серьезные дорожно-транспортные происшествия, обеспечивая раннее предупреждение водителей и помогая им заранее предотвратить нарушения. Умная система дорожного регулирования движения может работать непрерывно в любой части страны, при обеспечении как традиционной и возобновляемой энергией [1].

Рисунок 1. Фрагменты умных дорожных знаков.

В умных дорожных знаках большое значения придается установлению режима модуляции характеристики и обнаружению движуших объектов на улично-дорожной сети. Схема обнаружения скоростного режима приведена на рис. 2.

Рис. 2. Схема обнаружение движуших объектов.

Предлагаются следующие параметры**.** Обнаружение движущихся транспортных средств CW [8], расстояние обнаружения 150 метров; длина обзора для водителей 800 метров; дальность сигнала 300+300=600 метров; определения скорости составляет 1 км/ч ~ 250 км/ч; возможность подключения нескольких устройств:

Интернет вещей (IoT): Подключение знака к системе IoT для удалённого мониторинга и управления. Это позволит обновлять информацию на знаке в режиме реального времени. 433 Wi-Fi беспроводных соединения [5].

Устройства также предоставляет водителям информацию об ограничениях скорости и картах Google Yandex. Устройство «Умная вывеска» имет микроволновый датчик CDM 324 работающий в частоте 24 ГГц. Умный датчик здесь самое главное один из ключивых ролей играет ффект Доплера представляет собой изменение частоты волн при движении источника или приемника относительно друг друга. Этот эффект находит широкое применение в различных областях, включая радары, медицинскую диагностику и измерение скорости объектов. Одним из доступных и широко используемых сенсоров для измерения этого эффекта является CDM324 — микроволновый радиолокационный датчик на частоте 24 ГГц, который измеряет скорости движущихся объектов на основе эффекта Доплера, а технологии доплерского эффекта смоделировано на мини компьютерной плате Raspberry Pi последнего поколения, технические данные мозгового платы [2] Таб. 3

Экологическая устойчивость: устройства водонепроницаемая, полностью соответствует требованиям стандарта IP65, рабочая температура при этом составляет от -40 до +60 ℃.

Технические параметры (мозговой части аппарата) приводим в табл.1.

Таблица 3 Технические параметры.

Версия	Микро архитектура	Частота	Ядер	ОЗУ	GPIO	USB	Ethernet	Wi-Fi	Bluetooth
Raspberry Pi 5	Cortex-A76 (ARM v8)	2.4 ГГц	4	4, 8 ГБ	40 пинов	USB 3.0 × 2шт, USB 2.0 × 2шт	Gigabit	802.11ac	5.0

В разработанном устройстве альтернативные источники энергии имеют следующие характеристики**:**

Солнечные панели установлены на дорожном знаке для автономного электроснабжения. Это позволит знаку работать независимо от сети электропитания.

Встроенные аккумуляторы для хранения энергии позволяют работать дорожному знаку ночью или в пасмурную погоду.

Энергоэффективность

Оптимизация использования энергии, например, переход в спящий режим, когда на дороге нет движения, или снижение яркости дисплея ночью.

Используя постоянную и переменную электрическую энергию, заряд аккумулятора работает при напряжении от 12,1 В до 23,4 В. Параметры солнечной батареи оставались неизменными в течение недели в непрерывном режиме работы устройства «Умная вывеска»: оно составляло 19 В в солнечный период и 15 В в пасмурное состояние.

Датчики: система освещения указателей скорости оснащена вечерним датчиком и дополнительными светодиодными датчиками света для визуальной видимости водителя на расстоянии [4]. Он запускается автоматически в темное время суток. В испытаниях,

проведенных в течение 10 суток в полном режиме работы устройства, снижения работоспособности светодиодов не произошло.

Режимы работы устройства интеллектуальных дорожных знаков (интервал зеленого и красного света) проверялись и изменялись автономно на основе установленных алгоритмов [7].

Анализ полученных результатов

Осуществлен сбор данных от знака для последующего анализа, например, мониторинг интенсивности дорожного движения или скорости автомобилей.

Интеллектуальный знак оснащен программным обеспечением, написанного на языке Python, многослойная нейронная сеть имеет собственную база данных размером 2Гб, позволяющая записывать трафик автомобилей и отправлять администратору все данные в виде диаграммы [6].

Светодиодные дисплеи: Использование LED-дисплеев для динамического отображения информации, например, изменения ограничения скорости в зависимости от времени суток, погодных условий или дорожной ситуации.

Стабильная работа системы наблюдалась в каждом режиме. Интеллектуальный дорожный знак имеет светоотражающий свойства в темное время суток и имеет возможность показывать водителю грубый красный знак смайлика или поощрения зелёный знак смайлика с помощью светящихся цифр и интерактивного смайла собранного из светодиодных LED ламп.

Заключение

Предлагаемая авторами интеллектуальная система дорожного знака имеет возможность анализировать суточный, ежемесячный и годовой поток автотранспорта и собирать отчет в виде диаграммы, что существенно поможет в разработке конкретного математического алгоритма для решения неизбежных проблем пробок. Умные дорожные знаки с источником из солнечной энергии оснащаются интеллектуальными транспортными системами управления и представляют собой инновации в дорожно-транспортной инфраструктуре, которые способствуют энергосбережению и эффективной работе по информированию участников дорожного движения об установленном скоростном режиме.

Литературы

1. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley&Sons.|
2. Модульные измерительные датчики. (2023). Journal of Technical Research and Development, 1(2), 210-218. https://jtrd.mcdir.me/index.php/jtrd/article/view/75
3. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2006). *Solar Thermal Collectors and Applications*. Energy.
4. https://doi.org/10.5281/zenodo.1014836
5. https://doi.org/10.17605/OSF.IO/C56NX
6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450804011
7. http://dspace.umsida.ac.id/handle/123456789/21410
8. Работа нейронной сети. Формирования Graphic detection detection проекта в языке программирование Python определение используемых библиотек. (2023). Journal of Technical Research and Development, 1(2), 297-305. https://jtrd.mcdir.me/index.php/jtrd/article/view/76
9. Umarov S. A., Akbarov D. E. Working out the new algorithm enciphered the data with a symmetric key //Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2016. – Т. 9. – №. 2. – С. 214.

10. Akbarov D. E. Cryptographic methods of ensuring information security and their application //Tashkent," Mark of Uzbekistan" publishing house. – 2009. – T. 432. – №2.
11. Umarov S. Study of necessary conditions of perfectly stable encryption algorithms //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. – T. 3147. – №. 1.
12. Porubay O. et al. Optimization of operation modes of renewable energy facilities to provide energy for agriculture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 01028.
13. Paar C. Applied cryptography and data security //Lecture Notes), Ruhr-Universität Bochum (http://www. crypto. ruhr-uni-bochum. de). – 2000.
14. Ergashev O. et al. Programming and processing of big data using python language in medicine //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 02027.
15. Koblitz N. A course in number theory and cryptography. – Springer Science & Business Media, 1994. – T. 114.
16. Akbarov D. et al. Research of general mathematical characteristics of logical operations and table replacements in cryptographic transformations //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2022. – T. 2432. – №. 1.

Тошматов Шерзод – ассистент Ферганского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Фергана, Узбекистан; men.mna74@gmail.com

Авезова Нилуфар – профессор Ферганского политехнического института, Фергана, Узбекистан

Мамадалиев Нурилло – доцент Ферганского филиала Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада аль-Хорезми, Фергана, Узбекистан

ENHANCING LIVESTOCK MANAGEMENT: REAL-TIME OBJECT BEHAVIOR MONITORING USING COMPUTER VISION

A. Saurambayeva, Y. Bapiyeva, Z. Arapova
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
Department of computer science

Abstract. *This thesis explores the use of edge computing and advanced computer vision technologies to improve real-time monitoring of objects behavior. By applying YOLOv8 and Roboflow for detection and behavior classification (e.g., walking, eating, drinking), large quantities of annotated video data were analyzed. The models demonstrated high accuracy, supported by evaluation metrics like confusion matrices and precision-recall curves. The study suggests future integration of IoT and predictive analytics to optimize livestock management. This research lays a foundation for advancing animal welfare and farm productivity through innovative technology.*

Keywords: *Edge computing, computer vision, interactive animal husbandry, animal detection and tracking, animal behavior recognition.*

1. Introduction

These days, computer vision-based real-time video streaming processing solutions are developing quickly due to the increased use and accessibility of smart technologies. In order to gather data about the state of objects in the observed environment and to detect particular patterns, actions, and objects early on, this project aims to investigate the possibilities of these technologies for managing video streams from readily portable cameras. Reports on ongoing occurrences are received promptly thanks to real-time data processing. With the use of these technologies, brief films that provide significant details about the state of the surrounding environment and viewed items may be produced. This information can then be used to influence operational decisions that are meant to enhance the well-being of individuals. Using these technologies to monitor livestock condition was the focus of the project's initial experiments. Their use is intended to be extended in the future for improving human safety and environmental monitoring.

By processing data nearer the source—at the network's edge—edge computing overcomes these difficulties. By placing servers closer to end users and their devices, this lowers latency and improves performance. Functions locally, reducing transmission latency and enabling sophisticated real-time applications like voice recognition, video analysis, and intelligent navigation. The landscape of data processing is improved when edge and cloud computing are combined. Edge computing lessens the load on core servers and increases responsiveness, even while cloud computing continues to be crucial. Studies have demonstrated the advantages of edge computing. Two examples of these include a low-latency video analytics platform that leverages mobile-edge collaboration and a real-time surveillance system that follows objects in a variety of network situations. These developments show how edge computing can be used to optimize real-time system networks, leading to notable gains in performance and reaction times.

Edge computing completes operations close to end users, resulting in reduced latency, faster reaction times, and better capabilities for real-time data analytics—all while the collected data is still routed to cloud centers. This change makes edge computing an essential supplement to cloud computing by enabling more effective real-time environment monitoring.

2. Computer vision

Within artificial intelligence and computer science, computer vision (CV) is an important field that focuses on comprehending, interpreting, and analyzing visual data from the actual world. Its main goal is to analyze images and videos by imitating the human visual system. Computer

vision pulls important information from visual inputs by recognizing objects, patterns, forms, and other salient properties. In order to perform tasks like real-time video stream analysis, automatic tracking, facial recognition, and 3D representation of seen structures, it also entails designing algorithms to evaluate and interpret visual input. Applications such as security systems, augmented reality, and video monitoring frequently make advantage of these features.

3. Object detection

For the purpose of recognizing and classifying objects in a variety of disciplines and applications, object detection is a commonly used computer vision approach that tracks and identifies objects inside imagery. Its main goal is to extract useful insights that can be used for other tasks in addition to analyzing photos or videos. Deep learning is frequently used by object detection algorithms to anticipate object classes and identify specific object positions inside photos. Usually, to do this, bounding boxes are drawn around each object, and class labels are applied. The objective is to develop models that can process data in real time while also being quick and effective. These networks need more intricate and deeper layers, which in turn call for greater processing power and larger datasets in order to increase the precision and dependability of computer vision applications.

4. Literature review

The fast proliferation of data-driven platforms, IoT devices, and the expanding demand for edge computing have received significant attention for its capacity to handle data closer to the network edge, enabling real-time applications. Numerous edge computing architectures have been proposed in studies; Ramu [2] introduced a model that processes data directly at the edge of the network using primary and secondary edge nodes. While Nagvekar et al. [1] talked about how combining edge nodes with cloud computing might enable smooth data processing, improving the framework for a variety of applications, this technique increases efficiency.

When it comes to real-world applications, edge computing has shown to be very helpful. Its importance in enhancing IoT device performance in a variety of industries, including healthcare and transportation, was highlighted by Ravindran [3]. George [4] went into further detail about the use of edge computing in sectors like manufacturing and retail, where it is critical to process massive amounts of data in real time.

A noteworthy field of study is the function of edge computing in video analytics. Chen et al. [5] presented a system intended to improve bandwidth efficiency while evaluating video at the edge in response to the rise in video streaming. A framework that efficiently processes mobile video feeds and has sophisticated object recognition and detection capabilities was created by Sun et al. [6]. These studies demonstrate how edge computing can enhance time-sensitive settings and video-based applications in particular.

Smart farming in Kazakhstan's industry may be possible through the combination of edge computing and computer vision. Research [7] has investigated edge-device tracking systems and pig counting algorithms as potential livestock monitoring solutions. Nevertheless, miscounts and object congestion are problems for these approaches. Systems that combine computer vision and ultra-wideband technology [8] have demonstrated promise in dairy farming for real-time behavior tracking of cows. A lightweight approach for monitoring pig activity using YOLOv5s was developed by another study [9], and deep learning models have also been used to detect animal behavior.

5. Mathematical part: Bounding Box

Image moment computations can be used to find the size of the smallest bounding box surrounding of the desired objects. Assume that the lowest bounding box's area is the 0-th instant M00:

$$M_{00} = \sum_{n=1}^{l} \sum_{n=1}^{w} I(x, y) \quad (1)$$

where an arbitrary pixel in the minimum bounding box is represented by I(x, y). The bounding box's length and breadth are denoted by l and w, respectively. Next, the location of

The rectangles xc and yc's center of mass are:

$$x_c = \frac{\sum_{n=1}^{l} \sum_{n=1}^{w} xI(x, y)}{\sum_{n=1}^{l} \sum_{n=1}^{w} I(x, y)}, y_c = \frac{\sum_{n=1}^{l} \sum_{n=1}^{w} yI(x, y)}{\sum_{n=1}^{l} \sum_{n=1}^{w} I(x, y)} \quad (2)$$

6. Practical part

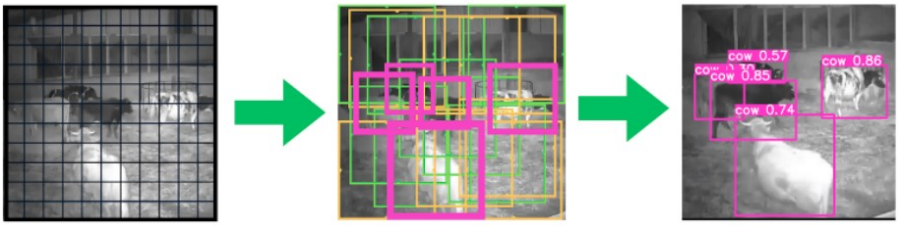
In the process of the research, a database containing pictures of animals in a variety of stances, emotions, and other features was created for thorough training. Video analysis is an effective method for identifying animal behavior that uses computer vision algorithms to extract useful data from video frames.

Parameter	Activity Recognition Model
Dataset	Cow-Behavior-Tracking
Data Size	3.7GB
Classes	6
Trained Model Size	52MB
Training Samples(Images)	723
Image Resolution	640x640
Training Accuracy	0.9448
Loss	0.1641
Epochs	35
Batch Size	8
Time to Train (GPU)	1hrs and 13mins

1-figure. Table demonstrates the detailed parameters used for the training of cattle activity recognition using the YOLOv8 model

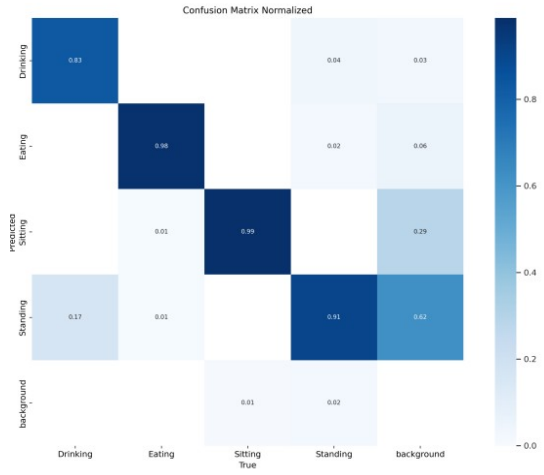
For this experiment, we gathered data from the Internet, including all necessary animal images. We utilized the YOLOv8 model for cow detection. Our dataset consists of nearly 400 images of cows, with approximately 300 selected for training and the remaining images reserved for testing (see 2-figure). Additionally, we created two files beforehand: the yolov8m.pt file and a YAML configuration file. The yolov8m_custom.pt file is compact yet provides good accuracy for our needs. The data_custom.yaml file outlines the paths for the training and testing datasets, as well as the total number and names of the classes. This YAML file specifies the dataset configuration, including paths for the training, validation, and test sets, the number of classes (which is one for cows), and the class names.

You Only Look Once (YOLO) (2-figure) is a widely used deep learning model renowned in the field of computer vision. The YOLOv8 model is particularly noted for its rapid image processing capabilities and accuracy, garnering increasing attention daily. The YOLO model was first introduced by Joseph Redmon in 2015, leading to the development of various versions, including v3, v5, and v7. In 2023, the YOLOv8 model was released by the Ultralytics library.



2-figure. You Only Look Once

The core concept of YOLOv8 for object detection involves dividing an image into a 13x13 grid [10]. This transformation occurs through the various layers of the YOLOv8 model. For each grid cell, YOLOv8 predicts a bounding box around an object, which includes the coordinates of its center (x and y) along with its width and height. The model also outputs the confidence level indicating the likelihood that an object exists in that cell, along with the probabilities for the assigned classes [11]. Finally, a non-maximum suppression technique is applied to eliminate duplicate detections of the same object with lower confidence scores [13]. The result is a final output displaying the bounding boxes (see 2-figure).



3-figure. Confusion matrix

The table (3-figure) offers a detailed view of the model's performance across specific categories (eating, standing/sitting, drinking). It highlights the correct classifications on the diagonal and misclassifications off the diagonal.

The precision rates for each category are as follows:

- Eating: 90%
- Standing/Sitting: 98%
- Drinking: 94%

These results (4-figure) indicate that our YOLOv8-based animal detection model is both robust and effective. The confusion matrix serves as a useful tool for visualizing classification performance, summarizing predictions against actual classifications. Diagonal values reflect correct classifications, while off-diagonal values indicate misclassifications, revealing areas for improvement [15]. Analyzing the confusion matrix allows us to calculate essential metrics like recall, precision, specificity, and accuracy, giving a well-rounded view of the model's strengths and weaknesses.

4-figure. Visual outcome of trained model

The analysis of the annotated video data provided valuable insights into the daily activities and interactions of cows on the farm. Various behavioral patterns and trends were identified, enabling effective management practices to enhance animal welfare and productivity. These findings form a basis for informed decision-making and adaptive management strategies in interactive animal husbandry.

7. Conclusion

This study highlights the significance of real-time monitoring and analysis of cow behavior, providing essential insights into animal welfare and management practices. We introduced a novel approach using the YOLOv8 model for cow detection and the Roboflow environment for behavior classification, identifying actions such as eating, drinking, sitting, standing, sniffing, and rubbing. The annotated video data offered valuable insights into daily cow activities, aiding management practices to enhance productivity.

For future work, we plan to conduct practical experiments in real-world farm settings to validate the effectiveness and feasibility of our proposed methodology for managing interactive animal husbandry. In summary, this research contributes significantly to interactive animal husbandry by showcasing the successful integration of computer vision and edge computing technologies. Our robust system facilitates real-time monitoring and analysis of cow behavior, providing valuable insights for optimizing animal welfare and farm operations. This innovative approach has the potential to transform interactive animal husbandry, positively impacting animal welfare, productivity, and sustainability in modern agriculture.

References

1. Nagvekar, Omsai. Edge Computing / Omsai Nagvekar, Vinod Choudhari, Hanish Patil. — 2022.
2. Ramu, Basavegowda Vivek. Edge Computing Performance Amplification / Basavegowda Vivek Ramu // International Journal of Recent Advances in Science and Technology. — 2023. — Vol. 10. — Pp. 69–76.
3. Ravindran, Arun. Edge Computing Systems for Streaming Video Analytics: Trail Behind and the Paths Ahead / Arun Ravindran. — 2023.
4. Edge Computing and the Future of Cloud Computing: A Survey of Industry Perspectives and Predictions / A. Shaji George, A.s George, Dr Baskar, A. s. — 2023. — Pp. 19–44.

5. Design and Implementation of Video Analytics System Based on Edge Computing / Y. Chen, Y. Xie, Y. Hu et al. // 2018 International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC). — 2018.
6. mVideo: Edge Computing Enabled Mobile Video Processing Systems / Hui Sun, Ying Yu, Kewei Sha, Bendong Lou // IEEE Access. — 2019. — Pp. 1–1.
7. Efficient pig counting in crowds with keypoints tracking and spatial-aware temporal response filtering / G. Chen, S. Shen, L. Wen et al. — 2020.
8. Tracking and analyzing social interactions in dairy cattle with real-time locating system and machine learning / Keni Ren, Gun Bernes, Marten Hetta, Johannes Karlsson // Journal of Systems Architecture. — 2021. — Vol. 116. — P. 102139.
9. Dewangan, Omprakash. Self-Adaptive Edge Computing Architecture for Livestock Management: Leveraging IoT, AI, and a Dynamic Software Ecosystem / Omprakash Dewangan, Priya Vij // BIO Web Conf. — 2024. — Vol. 82. — P. 05010.
10. Alameer, A. Automated recognition of postures and drinking behavior for the detection of compromised health in pigs / A. Alameer, I. Kyriazakis, J. Bacardit // Scientific Reports. — 2020. — Vol. 10. — P. 13665.
11. Bello, R.-O. Smart animal husbandry: A review of its data, applications, techniques, challenges and opportunities / R.-O. Bello, A. S. A. Rotimi-Williams, A. Talib // SSRN Electronic Journal. — 2022.
12. Sabella, Diego. Multi-Access Edge Computing in Action / Diego Sabella, Alex Reznik, Rui Frazao. — 1st edition. — CRC Press, 2019.
13. Sabella, Diego. Multi-Access Edge Computing in Action / Diego Sabella, Alex Reznik, Rui Frazao. — 1st edition. — CRC Press, 2019.
14. Innovations, EAI/Springer. Edge Computing / EAI/Springer Innovations. — Springer, 2019.
15. DeepDecision: A Mobile Deep Learning Framework for Edge Video Analytics / Xukan Ran, Haolianz Chen, Xiaodan Zhu et al. // IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications. — IEEE, 2018. — Pp. 1421–1429.

Saurambayeva Adiya – Master's degree candidate. Al-Farabi Kazakh National University;
050000, Almaty; e-mail: adissyerzhan@gmail.com

Bapiyeva Yelizaveta – Master's degree candidate. Al-Farabi Kazakh National University;
050000, Almaty; e-mail: lizabapieva@gmail.com

Arapova Zhanerke – Master's degree candidate. Al-Farabi Kazakh National University;
050000, Almaty; e-mail: arap.jd@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В БОРЬБЕ С ВРЕДИТЕЛЯМИ

Анарбекова Г.А., Аканова А.С., Шарипова С.Е.
Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Казахстан

Современные нейронные сети являются мощным инструментом для решения различных задач в сфере искусственного интеллекта. Их работа основана на моделировании процессов, происходящих в головном мозге человека, что позволяет применять их в самых разных областях. В сельском хозяйстве нейронные сети играют критически важную роль в борьбе с вредителями. Цель данного исследования — оценить эффективность использования нейронных сетей для прогнозирования изменений численности жуков. В рамках исследования проведено сравнение нейронных сетей с традиционными методами прогнозирования, включая статистические модели (например, регрессионные модели и деревья решений), а также классические алгоритмы машинного обучения. Для получения обзора применения нейронных сетей в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями был проанализирован ряд публикаций, индексируемых в базе Scopus.

Ключевые слова: нейронные сети, сельское хозяйство, борьба с вредителями.

Один из направлений научных исследований в области создания искусственного интеллекта являются нейронные сети. Такие сети уверенно применяются в разных сферах человеческой деятельности.

Один из направлений научных исследований в области создания искусственного интелекта являются нейронные сети. Такие сети уверенно применяются в разных сферах человеческой деятельности.

В частности, прогнозирование временных рядов с использованием нейронных сетей очень актуально для области энергетики (например, разработана новая система, обеспечивающая краткосрочное прогнозирование освещенности фотоэлектрической парковой зоны [1]), в медицине (разработана модель глубокого обучения, которые направлены на раннее выявление и классификацию каждого случая деменции [2], представлена надежная гибридная глубокая сверточная нейронная сеть для быстрой идентификации пневмонии с использованием данных рентгеновских изображений [3]), в музыке (предложен новый метод расчета эстетики мелодического фрагмента, исходя из диссонансов. [4], в правоохранительных органах (применение нейронных сетей для оценки тестов на полиграфе [5]), в IT сфере (использовали блокчейн и федеративное обучение для обучения нейронных сетей на периферии, обучает сети без хранения каких-либо данных и объединяет несколько сетей, обученных на уникальных данных, образуя глобальную сеть через централизованный сервер [6]), производится обзор современных архитектур глубокого обучения для прогнозирования временных рядов [7].

Также использование нейронных сетей критически важна в управлении технологическими процессами (повышение эффективности выращивания растений) в сельском хозяйстве.

Применение этих технологий позволяет: производить мониторинг растений, прогнозировать урожайность, прогнозировать погоду и климатические изменения, оптимизировать использование ресурсов, бороться с болезнями и вредителями.

Ученые из University of Barishal (Bangladesh) применили глубокие сверточные нейронные сети DCNN для обнаружения заболеваний листьев томатов [8]. Ученые из Guangxi University (China) создали модель прогнозирования индекса процесса прессования сахарного тростника на основе нейронной сети [9]. Сочетается глубокое обучение с механизмом прессования и создана модель прогнозирования индекса процесса прессования сахарного тростника на основе нейронной сети, основанной на физике (PINN). Ученые из

Université de Ségou Мали предложили метод в выявлении и обнаружении насекомых-вредителей в сельскохозяйственных культурах с использованием сверточной нейронной сети [10]. Для распознавания изображений болезней и вредителей клубники была разработана улучшенная модель с помощью сверточной нейронной сети [11]. Были использованы предварительно обученные параметры, где исходная модель AlexNet обучала на наборе данных ImageNet, точность 97,35%.

Чтобы добиться быстрого распознавания распространенных вредителей в сельском и лесном хозяйстве, был предложен метод, основанный на нейронной сети глубокой свертки [12]. Были использованы методы обработки изображений, как переворот, вращение, масштабирование, добавление шума Гусса.

Учеными из Engineering Research Centre предлагается сверточная нейронная сеть, предназначенная для обнаружения болезней растений и заражения вредителями на основе изображений [13].

Сеть долговременной памяти предсказывает будущие случаи появления вредителей и болезней хлопка на основе погодных факторов [14]. Разработан метод на основе LSTM для решения проблем прогнозировании временных рядов. LSTM хорошо справляется с прогнозированием появления вредителей и болезней на хлопковых полях и дает площадь под кривой (AUC) 0,97.

Таким образом, применение нейронной сети в исследованиях проводимых в сельском хозяйстве для выявления вредителей видно, что были изучены и предложены следующие методы: глубокие сверточные нейронные сети; метод в выявлении и обнаружении насекомых-вредителей с использованием сверточной нейронной сети; гибридная глубокая сверточная нейронная сеть; метод, основанный на нейронной сети глубокой свертки; модель прогнозирования индекса процесса прессования сахарного тростника на основе нейронной сети.

Анализ литературных источников показал, что нейронная сеть для выявления вредителей в сельскохозяйственном секторе остается малоизученным. Данная область требует проведения более тщательного исследования.

Своевременное выявление вредителя является одной из основных проблем сельского хозяйства. Сезонная изменчивость, экстремальные погодные условия и изменение климата во всем мире также способствуют риску их возникновения.

Целью данного исследования является оценка эффективности использования нейронных сетей для прогнозирования динамики численности вредителей, оптимизации методов борьбы и улучшения экологической устойчивости сельского хозяйства.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: а) исследование потенциала нейронных сетей, б) сравнение нейронных сетей с другими методами прогнозирования.

В исследовании применялись такие методы, как анализ, научное обобщение и сравнение. При помощи научного обобщения были рассмотрены и систематизированы результаты существующих исследований в области вредителей сельскохозяйственных культур.

Вредители хорошо известны как один из основных глобальных источников сельскохозяйственного ущерба. Профилактика и борьба с насекомыми-вредителями может снизить сельскохозяйственные потери.

Нейронные сети имеют свои особенности и преимущества в сравнении с традиционными методами прогнозирования, такими как статистические модели (например, регрессионные модели, деревья решений) и классические алгоритмы машинного обучения. Вот основные различия:

Таблица 1. Сравнение нейронных сетей с другими методами прогнозирования

	Нейронные сети	Традиционные методы прогнозирования
Обработка данных	Способны обрабатывать сложные и многомерные данные, включая изображения, текст и временные ряды.	работают с табличными данными и требуют предварительной подготовки признаков. Эти методы часто предполагают наличие линейных или заранее известных зависимостей.
Работа с нелинейными зависимостями	Превосходно справляются с моделированием сложных нелинейных зависимостей	работают только с линейными зависимостями или требуют преобразований данных
Точность прогнозов	Могут обеспечивать высокую точность прогнозов за счет глубокого анализа данных и автоматического извлечения признаков	При грамотной настройке могут давать точные результаты в простых задачах с малым количеством данных, но на больших объемах данных и сложных задачах их точность обычно ниже по сравнению с нейросетями
Требования к данным	Для эффективного обучения нейросетей требуется большое количество данных	Могут работать с меньшим объемом данных и требуют меньших вычислительных ресурсов. Они менее подвержены переобучению на малых выборках, но их эффективность падает на больших и сложных наборах данных.
Обучение и настройка	Требуют тщательной настройки гиперпараметров, таких как количество слоев, количество нейронов, типы активаций и так далее.	Настройка таких моделей, как регрессия, деревья решений, часто проще и требует меньше параметров для настройки. Однако они могут быть менее гибкими.
Гибкость и адаптивность	Более гибкие и адаптивные, могут обучаться на различных типах данных и быстро подстраиваться под изменения условий. Хорошо применимы в задачах прогнозирования с множеством изменяющихся факторов (например, погодные данные, экономические индикаторы)	Менее адаптивны к изменениям в данных, особенно если модели были обучены на старых данных. Требуют переобучения для учета новых факторов.

Нейронные сети превосходят традиционные методы в сложных задачах с большими объемами данных и сложными нелинейными зависимостями, но требуют значительных вычислительных ресурсов и времени на настройку. Традиционные методы, хотя и менее мощные, более просты в применении и требуют меньше данных, что делает их предпочтительными для простых задач или при недостатке данных.

Применение нейронных сетей в борьбе с вредителями охватывает широкий спектр методов и технологий, направленных на обнаружение, мониторинг и борьбу с вредителями для смягчения их воздействия на урожайность сельскохозяйственных культур.

Использование нейронных стетей в сельском хозяйстве вызывает значительный интерес. В последние годы отмечается значительное увеличение числа публикаций в базе

данных Scopus, посвящённых применению этих технологий в сельском хозяйстве. В ходе исследования было выявлено 1141 статья, опубликованная в период с 2014 по 2024 годы. Наибольший рост (в 1,6 раза по сравнению с предыдущим годом) зафиксирован в 2024 году (рис. 1).

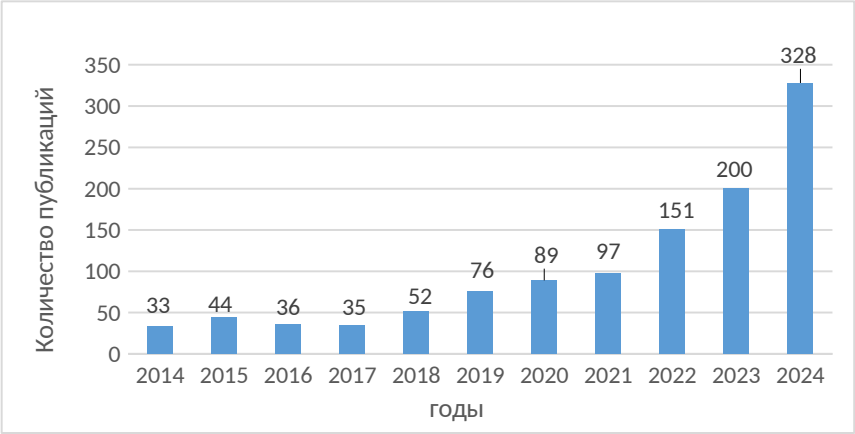


Рис.1 Количество публикаций в базе данных Scopus по применению нейронных сетей в сельском хозяйстве в борьбе с вредителями

Также был проведён анализ количества публикаций в крупнейшей научной базе цитирования Scopus с учётом распределения по странам (рис. 2).

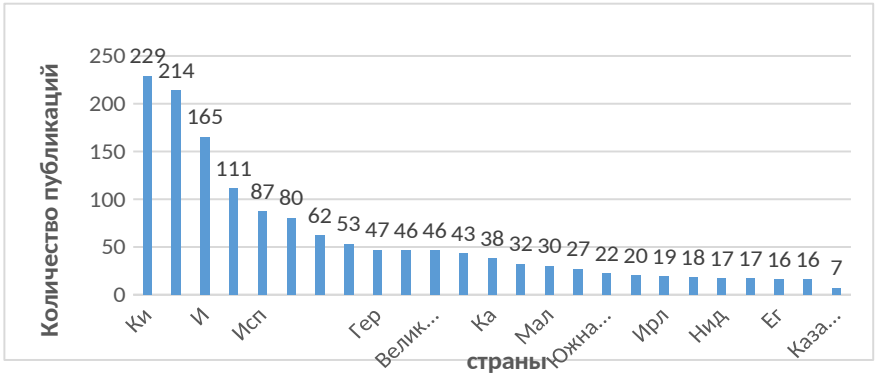


Рис. 2 Количество публикаций в базе данных Scopus в разрезе стран

Экономически развитые страны, такие как Китай и США, осознают важность исследований в данной области и активно инвестируют в них значительные ресурсы. В то же время для Казахстана существует серьёзная угроза в сельском хозяйстве, заключающаяся в нарастающем отставании в разработке технологий на основе нейронных сетей для борьбы с вредителями по сравнению с передовыми странами.

Технологии на основе нейронных сетей демонстрируют высокую эффективность и широкие возможности для решения различных задач в самых разных сферах, включая сельское хозяйство. Их применение в борьбе с вредителями позволяет существенно повысить точность прогнозирования, автоматизировать мониторинг и оптимизировать меры по защите урожая. В сравнении с традиционными методами прогнозирования, нейронные сети обеспечивают более глубокий анализ данных и имеют потенциал для значительного улучшения производственных процессов. Однако для успешного внедрения этих технологий требуются значительные ресурсы, экспертные знания и развитие специализированной инфраструктуры.

Литература

1. Venitourakis, G.,Vasilakis, C. Neural Network-Based Solar Irradiance Forecast for Edge Computing Devices / G. Venitourakis, C. Vasilakis // Information – Switzerland, 2023. – Vol. 14, N. 11. – P. 617.
2. Alqahtani, S., Alqahtani, A. Severity Grading and Early Detection of Alzheimer's Disease through Transfer Learning / S. Alqahtani, A. Alqahtani // Information – 2023. – Vol. 14, N. 12. – P. 646.
3. Sanida T., Tabakis I-M. A Robust Hybrid Deep Convolutional Neural Network for COVID-19 Disease Identification from Chest X-ray Images / T. Sanida , I-M. Tabakis // Information – 2023. . – Vol. 14, N. 6. – P. 310.
4. Paroiu R, Trausan-Matu S. Measurement of Music Aesthetics Using Deep Neural Networks and Dissonances / R. Paroiu // Information – 2023. – Vol. 14, N. 17. – P. 358.
5. Rad, D., Paraschiv, N. Neural Network Applications in Polygraph Scoring / D. Rad // Information – 2023. – Vol. 14, N. 10. – P. 564.
6. Calo J, Lo B. Federated Blockchain Learning at the Edge / J. Calo // Information – 2023. – Vol. 14, N. 6. – P. 318.
7. Casolaro, A., Capone, V. Deep Learning for Time Series Forecasting: Advances and Open Problems / A. Casolaro // Information – 2023. – Vol. 14, N. 11. – P. 598.
8. Hossain, M. Detecting tomato leaf diseases by image processing through deep convolutional neural networks / M. Hossain // Smart Agricultural Technology – 2023. – Vol. 5. – P. 100301.
9. Chengfeng, L. Sugarcane juice extraction prediction with physical informed neural networks / L. Chengfeng // Journal of Food Engineering – 2024. – Vol. 364. – P. 111774.
10. Solemane, C. Explainable deep convolutional neural networks for insect pest recognition / C. Solemane // Journal of Cleaner Production – 2022. – Vol. 371. – P. 133638.
11. Cheng, D. Automatic recognition of strawberry diseases and pests using convolutional neural network / D. Cheng // Smart Agricultural Technology – 2021. – Vol. 1. – P. 100009.
12. Jin, W. Common pests image recognition based on deep convolutional neural network / W . Jin // Computers and Electronics in Agriculture – 2020. – Vol. 179. – P. 105834.
13. Wang, B. An ultra-lightweight efficient network for image-based plant disease and pest infection detection / B. Wang // Precision Agriculture – 2023. – Vol. 24, N. 5. – P. 1836 - 1861.
14. Xiao, Q. Occurrence prediction of pests and diseases in cotton on the basis of weather factors by long short term memory network / Q. Xiao // BMC Bioinformatics– 2019. – Vol. 20. – P. 688.

Анарбекова Галия Абаевна – младший научный сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Казахстан; 010000, Астана; e-mail: galiya2810@mail.ru

Аканова Акерке Сапаровна – руководитель проекта, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, Казахстан; 010000, Астана; e-mail: akerkegansaj@mail.ru*;*

Шарипова Салтанат Еркиновна – младший научный сотрудник, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина; 010000, Астана; e-mail: salta_pvl@bk.ru

DEVELOPMENT OF BIG DATA MODEL WITH IOT APPLICATION

Yeslyamova Gozel[1], Bugatayev Samat[2], Yessibekov Zinel[1], Tussupov Akhmet[3]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanova, Astana, Kazakhstan
[3]Astana IT University, Astana, Kazakhstan
e-mail: guzalmanabaeva@gmail.ru, esibekov@internet.ru, bugattysam@gmail.com, akhmet.tussupov@astanait.edu.kz

Abstract. *This article presents a big data processing model using the Internet of Things (IoT), focused on forecasting meteorological data. The paper discusses the features of processing meteorological data using big data technologies and machine learning algorithms. The authors use historical data and algorithms such as CNN-LSTM to accurately predict weather conditions in a particular region. Although the hybrid approach using deep learning demonstrates some potential, the article also notes the limitations and difficulties associated with accurately predicting weather data solely based on historical records, without taking into account standard meteorological factors.*

Keywords: *model, big data, iot, machine learning, meteorological data*

1. Introduction:

Thanks to scientific and technological advances, meteorological data can now be collected at low cost and with high spatial and temporal accuracy [1–7]. Such large volume of collected data, which requires the use of appropriate infrastructure and processing methods in the industry introduces the concept of 'big data'. That is, big data are diverse and complex data sets that present processing, storage an presentation challenges for future processes or results.

A computer program that uses input data to perform tasks is called a machine learning algorithm. The purpose of machine learning is to mimic human understanding of sensory (input) from the environment data to perform tasks [8, 9].

In our work, we used only historical data and machine learning to predict meteorological data, while standard weather forecasting takes into account such factors and parameters as: atmospheric parameters, physical processes in the atmosphere, geographical factors and climatic features of the region.

2. Literature Review:

Current research uses big data solutions and machine learning techniques for predicting utilizing weather and other sensor data from the Internet of Things [10]. Previous forecasting efforts used simple statistical methods, such as agricultural productivity using weather data [11].

Using meteorological data from many nations, a number of researchers have worked to enhance the daily, monthly, and yearly rainfall prediction. To be more precise, they have used machine learning algorithms [12], big data analytics [13], and data mining [14, 15] to increase the accuracy of rainfall forecasts on a daily, monthly, and annual basis. The research findings indicate that machine learning approaches have replaced data mining techniques in the prediction process. For instance, scientists have shown [13] that machine learning algorithms outperform the conventional deterministic approach to weather and precipitation forecasting.

The authors of the research [16] described the first approach in the world for combining big data, machine learning, semantics, and IoT to manage sensor fault detection and meteorological data analysis. The design effort of creating a large data model for Internet of Things applications, particularly for the analysis of meteorological data, greatly benefits from this research. K-means

clustering is a useful method for finding patterns or abnormalities in big datasets when it comes to sensor defect detection data processing.

3. Big data processing:

a. Study area and data

The territory where we conducted our research (Fig. 1) is located in Kazakhstan, in the city of Astana (51°9’21"north latitude, 71°23’20"east longitude [17] and at an altitude of 347 meters (1138 feet) above sea level [18]). This is an area of about 810 km², which is located in a very flat but spacious semi-arid steppe landscape.

Astana has a continental climate (according to the K¨oppen scheme (Dfb)) with warm summers (sometimes with short rains) and long, very cold and dry winters. Astana is the second coldest national capital in the world. The average annual temperature in Astana is 3.9 °C (39.0 °F). Summer temperatures sometimes reach 35 °C (95°F), while from mid-December to early March temperatures from -30 to -35 °C (-22 to -31°F) are normal. January is the coldest month with an average temperature of -14.5 °C (5.9 °F). July is the hottest month with an average temperature of 20.6 °C (69.1 °F). [18]

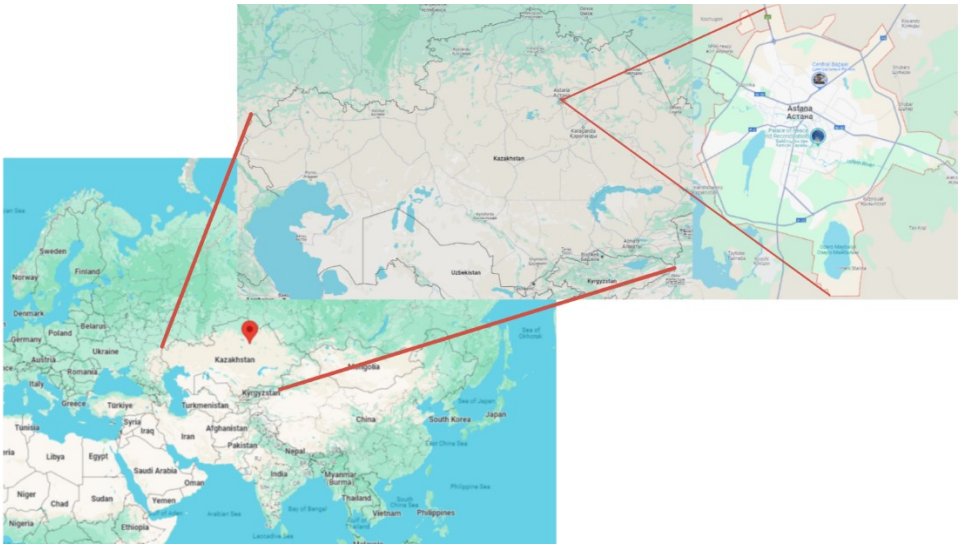


Fig. 1 Location of the research area

b. Data storage and processing

With the data securely placed in Microsoft Azure, data processing will be done with cleaning, transformation, and preparation for analysis. We use Apache Spark to get this done. Spark is a highly scalable distributed data parallel computing platform. Steps involved in data processing:

1) Data Cleaning. Eliminating all inconsistencies, duplicates, or errors in the data, which means that the data is clean and ready for use.
2) Data Transformation. The process of changing raw data into a structured format suited for analysis. This may mean standardizing data values, filling missing data, or summarizing data points for analysis.
3) Data Integration. Pooling various sources of data to build an allencompassing representation of weather conditions.

This data is processed and integrated to build and train machine learning models. In this context, we use Google Colab to perform the coding part. Google Colab is a very flexible and powerful notebook platform with access to GPU and TPU power, mainly used to develop machine learning models.

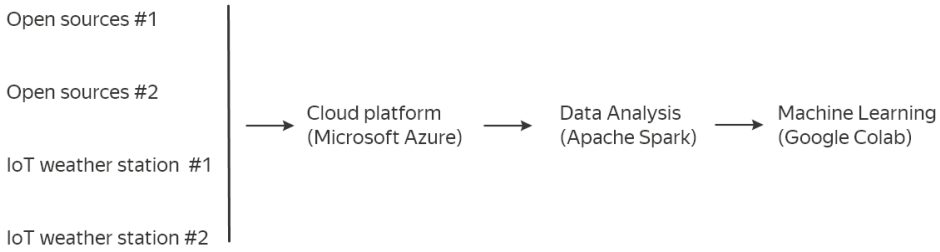


Fig. 2 Graphical representation of data processing

c. Big data analysis

After analyzing data for 20 years, we can see various anomalies, for example, in the winter of 2012, when there was a sharp jump in cooling. Another example from the spring of 2013: the average temperature dropped significantly.

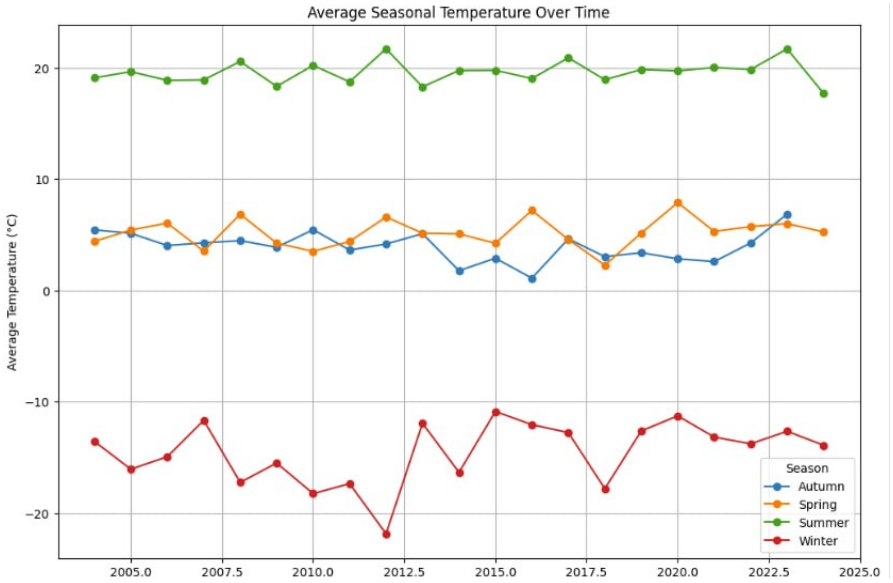


Fig. 3 Identification of seasonal anomalies/omissions of data by year

4. Machine learning integration

We focus on the two broadest and most appropriate varieties of machine learning: deep learning techniques [19] and classical machine learning techniques [20]. There are two types of classical machine learning: supervised and unsupervised.

Supervised learning is a process in which algorithms, given a set of training examples with appropriate goals, respond appropriately to all possible inputs; this is the name of example-based learning. Regression and classification are the two main tasks of supervised learning. The process of sorting data into predefined groups or classes before analysis is known as classification [21]. In regression method, data samples are used to predict new input data to find correlations between continuous input and output data [22].

Unsupervised learning is the process of finding similarities between input data and the corresponding classification of the data; it has no tasks and no correct answers. Finding structure or pattern in a set of unlabelled data is called clustering. In clustering methods, the entire data set is partitioned into K clusters so that the data points in each cluster are related to each other but different from the data points in other clusters [23].

Machine learning algorithms such as Linear Regression, Random Forest, Decision Tree, CNN and LSTM are most suitable for our task of forecasting meteorological data.

Having carried out one-dimensional time series forecasting using the machine learning algorithms described above, the following were used as evaluation indicators: the mean square error equation (MSE) (3.1) and the root mean square error (RMSE) (3.2) [24].

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

5. Results

According to [25 - 27] and our observations, the deep learning model performs better as the amount of data increases, this is shown in Fig. 3.5. Machine learning as well as deep learning methods are appropriate for our work because of the amount of data used in this study.

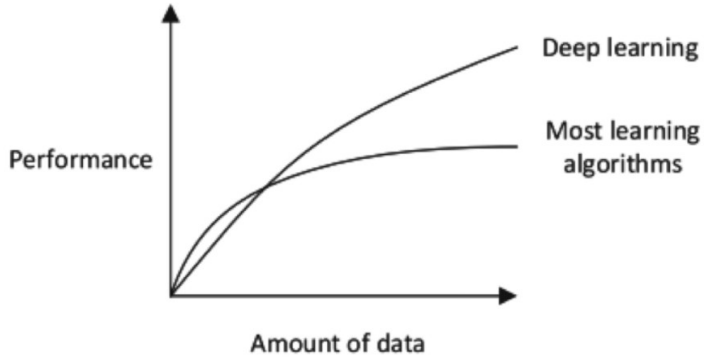


Fig. 3 Performance comparison between deep learning algorithms and most machine learning algorithms depending on the amount of data [25 - 27]

CNN-LSTM network is a hybrid model, which consists of Convolutional Neural Networks (CNNs) and Long Short-Term Memory (LSTM) networks. By using CNNs and LSTMs in conjunction, this architecture can more easily model both spatial and temporal dependencies in data, and is especially useful for sequencebased spatial data tasks such as video analysis, spatio-temporal forecasting, and sequential image processing among others. [28]

It follows a sequential pattern in which CNN for spatial data and LSTM is greater than features extracted by CNN capturing temporal dependencies.

CNNs are good for extracting local spatial patterns through convolutional layers. It receives input data (usually images, or frames from a video) and pass it through many convolutions, pooling, and activation functions to extract high-level features.

After that, the feature maps from the CNN are flattened and fed to an LSTM network as a sequence. These sequences are passed through LSTM layers which are capable of capturing the temporal dependencies due to its larger memory.

CNN-LSTM networks are employed in a wide range of fields, where both spatial and temporal information need to be captured.

Advantages of CNN-LSTM Networks:

- Spatial and Temporal Feature Learning: As the deep learning model uses CNNs and LSTMs, it is able to learn the spatial and temporal features equally well. If you are working in an area with complex data where spatial and temporal dimensions are entangled, CNN-LSTM networks do a better job when leading to more accurate and robust predictions.

- Flexibility: These networks can be customized for many applications such as video analysis or spatio-temporal forecasting.

Figure 3.1 shows the histogram of the root mean square error in forecasting with CNN-LSTM in our case.

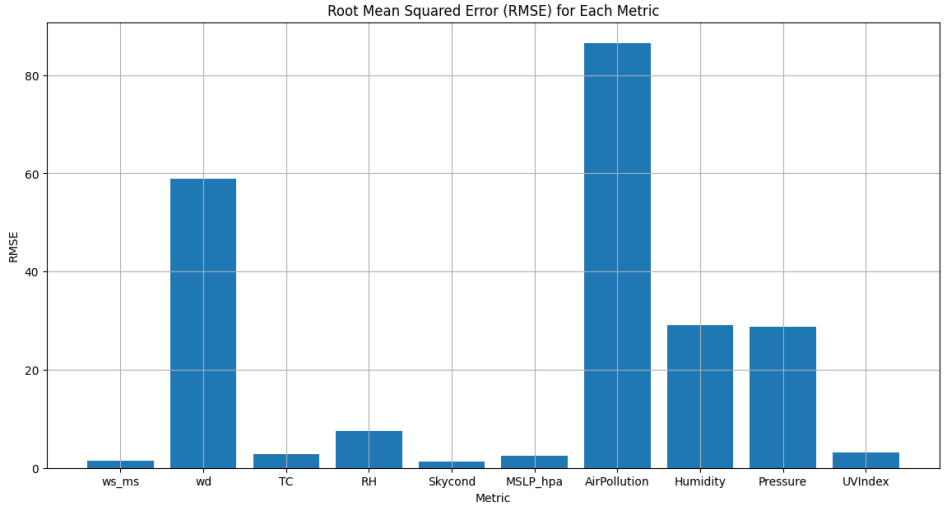


Fig. 4 RMSE histogram based on CNN-LSTM model for all metrics

a. Comparison of Models

To evaluate the performance of different machine learning models in predicting various meteorological parameters, we used Root Mean Square Error (RMSE) as the metric for comparison. The models evaluated include Linear Regression, Decision Tree, Random Forest, KNN, CNN, LSTM, and CNN-LSTM. The table below summarizes the RMSE values for each model across different metrics, with the best results highlighted in bold

Model	ws_ms (m/s)	wd (degrees)	TC (°C)	RH (%)	Skycond (units)	AirPollution (units)	Humidity (%)	Pressure (hPa)	UVIndex (units)
CNN-LSTM	**1.41**	**58.86**	2.78	**7.49**	**1.32**	**86.44**	29.0	**28.8**	3.18
Linear Regression	2.67	89.86	13.02	20.88	2.12	86.76	28.96	28.84	**3.17**
Decision Tree	2.33	78.4	3.34	12.22	2.3	124.01	41.08	41.2	4.54
Random Forest	1.92	62.8	2.67	9.79	1.79	94.77	31.79	31.72	3.48
KNN	1.74	59.43	**2.58**	8.51	1.7	95.17	31.72	31.62	3.47
CNN	2.3	88.03	4.91	13.71	2.05	86.83	**28.95**	28.92	**3.17**
LSTM	2.36	87.28	4.95	16.08	2.0	86.78	28.96	190.4	**3.17**

Table 1. Comparison of models

From the table, it is clear that the CNN-LSTM model generally outperforms the other models across several metrics. Notably, it achieved the lowest RMSE for wind speed, wind direction, relative humidity, sky condition, and air pollution. This suggests that the hybrid approach of combining Convolutional Neural Networks (CNN) with Long Short-Term Memory (LSTM) networks is particularly effective for capturing both spatial and temporal dependencies in meteorological data.

b. Predictions and Analysis

Using the CNN-LSTM model, we predicted various meteorological parameters for the upcoming week. Below is a detailed analysis of these predictions.

Future Day Predictions for the Next Week

Date	ws_ms (m/s)	wd (°)	TC (°C)	RH (%)	Skycond	AirPollution	Humidity (%)	Pressure (hPa)	UVIndex
2024-06-08	3.73	224.05	19.34	75.17	5.69	148.49	52.63	1000.26	5.56
2024-06-09	3.29	223.14	20.42	70.35	5.47	146.25	53.07	1000.02	5.62
2024-06-10	2.17	211.64	21.56	65.53	4.94	144.69	52.81	999.86	5.53
2024-06-11	3.67	220.8	22.94	58.13	5.46	146.83	52.1	999.93	5.56
2024-06-12	4.07	227.13	23.89	52.9	5.55	145.97	52.24	999.79	5.58
2024-06-13	2.36	222.94	25.45	49.42	5.47	146.01	52.3	1000.5	5.49
2024-06-14	4.39	223.25	27.68	39.9	5.56	146.25	51.78	1000.04	5.52

Table 2. Day predictions for the next week

Future Night Predictions for the Next Week

Date	ws_ms (m/s)	wd (°)	TC (°C)	RH (%)	Skycond	AirPollution	Humidity (%)	Pressure (hPa)	UVIndex
2024-06-08	2.64	199.73	18.43	77.59	5.81	145.53	51.43	999.27	5.27
2024-06-09	3.25	200.36	17.78	75.19	5.61	145.71	52.07	999.34	5.48
2024-06-10	2.75	206.0	19.28	73.44	5.6	145.21	52.04	999.57	5.36
2024-06-11	3.35	207.9	19.61	68.93	5.7	148.47	52.33	999.91	5.55
2024-06-12	3.62	210.98	20.38	62.9	5.53	148.22	52.27	999.94	5.57
2024-06-13	2.28	210.49	23.11	56.13	5.08	146.21	52.88	1000.95	5.52
2024-06-14	4.12	215.95	25.58	45.57	5.52	147.6	51.8	999.77	5.54

Table 3. Night predictions for the next week

Overall, the CNN-LSTM model has demonstrated robust performance in predicting various meteorological parameters. Its ability to capture complex patterns in the data makes it a valuable tool for weather forecasting.

Thus, for forecasting meteorological data, it is possible not to use standard weather forecasting, which takes into account such factors and parameters as: atmospheric parameters, physical processes in the atmosphere, geographical factors and climatic features of the region. Forecasting is perfectly possible on the basis of purely historical data and machine learning.

6. Acknowledgment

This research has been partially supported by Astana IT University

7. Literature

1. Math, Rajinder Kumar M. IoT Based low-cost weather station and monitoring system for precision agriculture in India / Rajinder Kumar M Math,Nagaraj V Dharwadkar // 2018 2nd international conference on I-SMAC (IoT in social, mobile, analytics and cloud)(I-SMAC) I-SMAC (IoT in social, mobile, analytics and cloud)(I-SMAC), 2018 2nd international conference on / IEEE. — 2018. — Pp. 81–86.

2. Majumdar, Parijata. IoT and machine learning-based approaches for real time environment parameters monitoring in agriculture: an empirical review / Parijata Majumdar, Sanjoy Mitra // Agricultural informatics: automation using the IoT and machine learning. — 2021. — Pp. 89–115.

3. Weather monitoring system using smart sensors based on IoT / Suresh Kumar, MA Ansari, Shivam Pandey et al. // Micro-Electronics and Telecommunication Engineering: Proceedings of 3rd ICMETE 2019 / Springer. — 2020. — Pp. 351–363.

4. Kodali, Ravi Kishore. IoT based weather station / Ravi Kishore Kodali, Snehashish Mandal // 2016 international conference on control, instrumentation, communication and computational technologies (ICCICCT) / IEEE. — 2016. — Pp. 680–683.

5. Correlation among environmental parameters using an online Smart Weather Station System / Yash Mittal, Anshika Mittal, Diksha Bhateja et al. // 2015 Annual IEEE India Conference (INDICON) / IEEE. — 2015. — Pp. 1–6.

6. A smart data logger system based on sensor and Internet of Things technology as part of the smart faculty / Miloˇs Djordjevi´c, Branislav Joviˇci´c, Stefan Markovi´c et al. // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. — 2020. — Vol. 12, no. 4. — Pp. 359–373.

7. Djordjevic, Milos. A smart weather station based on sensor technology / Milos Djordjevic, Danijel Dankovic // Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics. — 2019. — Vol. 32, no. 2. — Pp. 195–210.

8. Usages of spark framework with different machine learning algorithms / Mohamed Ali Mohamed, Ibrahim Mahmoud El-Henawy, Ahmad Salah et al. // Computational Intelligence and Neuroscience. — 2021. — Vol. 2021.

9. El Naqa, Issam. What is machine learning? / Issam El Naqa, Martin J Murphy. — Springer, 2015.

10. Chin, Jeannette. Understanding and personalising smart city services using machine learning, The Internet-of-Things and Big Data / Jeannette Chin, Vic Callaghan, Ivan Lam // 2017 IEEE 26th international symposium on industrial electronics (ISIE) / IEEE. — 2017. — Pp. 2050–2055.

11. Lee, Meonghun. Agricultural production system based on IoT / Meonghun Lee, Jeonghwan Hwang, Hyun Yoe // 2013 IEEE 16Th international conference on computational science and engineering / IEEE. — 2013. — Pp. 833– 837.

12. Rainfall prediction using machine learning & deep learning techniques / Cmak Zeelan Basha, Nagulla Bhavana, Ponduru Bhavya, V Sowmya // 2020 international conference on electronics and sustainable communication systems (ICESC) / IEEE. — 2020. — Pp. 92–97.

13. Namitha, K. Rainfall prediction using artificial neural network on mapreduce framework / K Namitha, A Jayapriya, G Santhosh Kumar // Proceedings of the third international symposium on women in computing and informatics. — 2015. — Pp. 492–495.

14. Modeling and prediction of rainfall using radar reflectivity data: A datamining approach / Andrew Kusiak, Xiupeng Wei, Anoop Prakash Verma, Evan Roz // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. — 2012. — Vol. 51, no. 4. — Pp. 2337–2342.

15. Zainudin, Suhaila. Comparative analysis of data mining techniques for Malaysian rainfall prediction / Suhaila Zainudin, Dalia Sami Jasim, Azuraliza Abu Bakar // Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol. — 2016. — Vol. 6, no. 6. — Pp. 1148–1153.

16. Towards Smart Big Weather Data Management / Chouaib EL Hachimi, Salwa Belaqziz, Sa¨ıd Khabba, Abdelghani Chehbouni // Chemistry Proceedings. — 2022. — Vol. 10, no. 1. — P. 54.

17. Google map. https://www.google.com/maps/@51.0841886,71.4153489,12z?hl=enentry=ttu.

18. Astana. https://en.wikipedia.org/wiki/Astana.

19. Sarker, Iqbal H. Deep learning: a comprehensive overview on techniques, taxonomy, applications and research directions / Iqbal H Sarker // SN Computer Science. — 2021. — Vol. 2, no. 6. — P. 420.

20. Fatima, Meherwar. Survey of machine learning algorithms for disease diagnostic / Meherwar Fatima, Maruf Pasha et al. // Journal of Intelligent Learning Systems and Applications. — 2017. — Vol. 9, no. 01. — P. 1.

21. Vijayarani, S. Data mining classification algorithms for kidney disease prediction / S Vijayarani, S Dhayanand et al. // Int J Cybernetics Inform. — 2015. — Vol. 4, no. 4. — Pp. 13–25.

22. Stulp, Freek. Many regression algorithms, one unified model: A review / Freek Stulp, Olivier Sigaud // Neural Networks. — 2015. — Vol. 69. — Pp. 60–79.

23. A brief survey of machine learning methods and their sensor and IoT applications / Uday Shankar Shanthamallu, Andreas Spanias, Cihan Tepedelenlioglu, Mike Stanley // 2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA) / IEEE. — 2017. — Pp. 1–8.

24. Towards Smart Big Weather Data Management / Chouaib EL Hachimi, Salwa Belaqziz, Sa¨ıd Khabba, Abdelghani Chehbouni // Chemistry Proceedings. — 2022. — Vol. 10, no. 1. — P. 54.

25. Liyew, Chalachew Muluken. Machine learning techniques to predict daily rainfall amount / Chalachew Muluken Liyew, Haileyesus Amsaya Melese // Journal of Big Data. — 2021. — Vol. 8. — Pp. 1–11.

26. Chollet, Fran¸cois. Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions / Fran¸cois Chollet // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. — 2017. — Pp. 1251–1258.

27. Empirical evaluation of gated recurrent neural networks on sequence modeling / Junyoung Chung, Caglar Gulcehre, KyungHyun Cho, Yoshua Bengio // arXiv preprint arXiv:1412.3555. — 2014.

28. Hosseini, MSK. Personality-Based Emotion Recognition Using EEG Signals with a CNN-LSTM Network. Brain Sci. 2023, 13, 947. — 2023.

Yeslyamova Gozel Serikkyzy - Master's degree student. Al-Farabi Kazakh National University; 050000, Almaty, Kazakhstan; e-mail: guzalmanabaeva@gmail.ru

Bugatayev Samat Azamatovich - Master's degree student. Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanova; 010000, Astana, Kazakhstan; e-mail: bugattysam@gmail.com

Yessibekov Zinel Armatuly - Master's degree student. Al-Farabi Kazakh National University; 050000, Almaty, Kazakhstan; e-mail: esibekov@internet.ru

Tussupov Akhmet Jamalbekovich - Assistant professor, Phd. Astana IT University; 010000, Astana, Kazakhstan; e-mail: akhmet.tussupov@astanait.edu.kz

КРОСС-ВАЛИДАЦИЯНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЗИЯНКЕСТЕР САНЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫН БОЛЖАУ ҮШІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІНІ ДАМЫТУ

Шарипова С.Е., Аканова А.С., Анарбекова Г.А.
С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Қазақстан

Бұл мақалада зиянкестер санының динамикасын болжау үшін кросс-валидация әдістері мен нейрондық желілерді қолдану қарастырылады. Маусымдық ауытқулар мен климаттық өзгерістерді есепке алу үшін уақытша кросс-валидацияға ерекше назар аударылады, бұл агротехнология саласындағы болжамдардың дәлдігі үшін өте маңызды. LSTM моделін таңдау оның уақыт қатарларын тиімді өңдеу және ұзақ мерзімді тәуелділіктерді ескеру қабілетіне негізделген. Жүргізілген эксперименттер LSTM моделі 248.21-ге тең орташа квадраттық қателік (MSE) және 0,87-ге тең детерминация коэффициенті (R^2) алынған мәндермен дәлелденген сенімді және дәл болжамдарды қамтамасыз ететіндігін көрсетті. Бұл нәтижелер зиянкестерді басқару стратегияларына және ауыл шаруашылығының тұрақтылығына айтарлықтай әсер етуі мүмкін. Зерттеу зиянкестер санына әсер ететін қосымша факторларды болжау және есепке алу әдістерін жақсарту бойынша қосымша зерттеулерге перспективалар ашады.

Кілттік сөздер: нейрондық желі, кросс-валидация, болжау, зиянкестер санының динамикасы.

Кіріспе

Өсімдік зиянкестерінің динамикасын болжау тұрақты өнімділікті қамтамасыз ету және зиянды азайту үшін негізгі міндеттердің бірі болып табылады. Дәстүрлі болжау әдістері статистикалық модельдерге негізделген және көбінесе үлкен көлемдегі деректерді қажет етеді, бұл оларды динамикалық өзгеретін климат пен экожүйелердің әртүрлілігі жағдайында қолдануды қиындатады. Соңғы жылдары осындай мәселелерді шешу үшін нейрондық желілерді қолдануға көбірек көңіл бөлінді, өйткені олар деректердегі жасырын заңдылықтарды анықтауға және күрделі уақытша тәуелділіктерге бейімделуге қабілетті [1].

Дегенмен, нейрондық желілерді жобалау кезінде желі оқу деректерін тым жақсы есте сақтайтын, бірақ жаңаларын барабар қорытындылай алмайтын модельді қайта оқыту қаупі бар. Бұл тұрғыда кросс-валидация модельдің өнімділігін бағалаудың және қайта оқытудың алдын алудың маңызды құралына айналады. Кросс-валидация модельдің белгісіз деректерде қалай жұмыс істейтінін дәлірек бағалауға мүмкіндік береді, бұл әсіресе зиянкестер санының динамикасын болжау кезінде маңызды, мұнда болжамдардағы қателік ауыл шаруашылығында айтарлықтай шығындарға әкелуі мүмкін.

Бұл мақаланың мақсаты – зиянкестердің санын болжау үшін нейрондық желіні дамытуда кросс-валидация әдістерін қолдануды қарастыру, олардың тиімділігін талдау және болжамдардың дәлдігін жақсарту тәсілдерін ұсыну.

1. Тапсырма қою

Кросс-валидация – бұл қайта оқытудың алдын алу және оның жаңа деректерді жалпылау қабілетін тексеру үшін қолданылатын модельдің өнімділігін бағалаудың статистикалық әдісі. Әдістің мәні – модельдің көрінбейтін деректерде қалай жұмыс істейтінін дәлірек бағалауға мүмкіндік беретін бастапқы деректер жиынтығын оқыту және сынақ ішкі жиындарына бірнеше рет бөлу. Деректерді оқу және сынақ үлгілеріне қарапайым бөлуден айырмашылығы, кросс-валидация сенімді бағалауды қамтамасыз ете отырып, әр қадамда барлық деректер жиынтығын пайдаланады [2].

Кросс-валидацияның бірнеше негізгі түрлері бар [3]:

1. k-fold кросс-валидациясы. Бұл әдісте деректер k бөліктеріне (folds) бөлінеді. Әр қадамда осы бөліктердің бірі сынақ үлгісі ретінде пайдаланылады, ал қалған k-1 бөлік

модельді үйрету үшін қолданылады. Процесс k рет қайталанады және барлық итерациялар бойынша қателердің орташа мәні алынады. K-fold-тың басты артықшылығы-барлық деректер оқытуға да, тестілеуге де қатысады, бұл модельді бағалауды жақсартады.

2. Leave-One-Out (LOO) кросс-валидация. Бұл k-fold кросс-валидациясының ерекше жағдайы, мұндағы k деректер жиынындағы бақылаулар санына тең. Әрбір деректер үлгісі к езек — кезек сынақ үлгісі ретінде пайдаланылады, ал қалғандары оқу үшін пайдаланылады . Бұл әдіс ең дәл бағалауды қамтамасыз етеді, бірақ әсіресе үлкен деректер жиынтығында оқуға көп уақытты қажет етеді.

3. Stratified k-fold кросс-валидация. K-fold-қа ұқсас бұл әдісте деректер k қосалқы үлгіге бөлінеді, бірақ әрбір қосалқы үлгідегі класс пропорциялары сақталады. Бұл әсіресе де ректер теңгерімсіз болған кезде және кейбір сыныптар сирек кездесетін кезде пайдалы. Stratified k-fold сыныптардың пропорционалдығы маңызды болатын жіктеу тапсырмалары үшін дәлірек бағалауды қамтамасыз етеді.

Уақыт қатарларын болжау кезінде, зиянкестер санының динамикасы сияқты, стандартты кросс-валидация әдістері тиімсіз болуы мүмкін, өйткені олар деректердің уақытша тәуелділігін ескермейді. Оқиғалардың ретін сақтау маңызды, өйткені зиянкестер санының динамикасы ауа-райы, маусымдық және циклдік сияқты уақытша факторларға өте тәуелді. Кәдімгі k-fold әдісін қолдану бұл тәуелділікті бұзып, бұрмаланған нәтижелерге әкелуі мүмкін [4].

Кейбір ғалымдар уақыт қатарына арнайы бейімделген тәсілдерді ұсынады. Мысалы, геңейтілген кросс-валидация әдістері (time series cross-validation) немесе "жылжымалы терезе" (rolling window) деректердің ретін сақтайды. Экологиялық модельдерге арналған жұмыстарда уақытша кросс-валидацияны қолдану зиянкестердің санын болжау кезінде маусымдық ауытқулар мен климаттық өзгерістерді ескеруге мүмкіндік беретіні атап өтілген [5]. Бұл әдістер уақытша деректерді талдауда тиімді болды, мұнда болашақ болжамдар бұрын байқалған трендтер мен корреляцияларға байланысты.

Бақылаулар арасындағы уақытша тәуелділіктерді бұзбау үшін уақыт қатарларымен жұмыс істеу үшін стандартты k-fold әдісі уақытша деректерге қолайлы әдістермен ауыстырылады. Міне, осы әдістердің бірнешеуі:

1. "Жылжымалы терезе" әдісі бойынша кросс-валидация (rolling window cross-validation). Бұл әдіс деректерді дәйекті уақыт терезелеріне бөледі, мұнда әрбір жаңа итерация оқиғалардың ретін сақтай отырып, жаңа деректерді қосу арқылы оқу жинағын кеңейтеді. Мысалы, бірінші модель 1 — ден 100-ге дейінгі деректерде оқытылады және 101-ден 110-ға дейінгі деректерде сыналады, содан кейін оқыту үлгісі (1-ден 110-ға дейінгі деректер) және сынақ үлгісі 111-ден 120-ға дейін артады. Бұл уақыт трендтерін ескеруге мүмкіндік береді және болжам дәлдігін жақсартады.

2. Expanding window cross-validation. Бұл әдіс жылжымалы терезеге ұқсас, бірақ уақыт өте келе Оқу үлгісі үнемі өсіп отырады. Мысалы, алдымен алғашқы 100 Деректер моделі оқытылады және келесі 10-да сыналады, содан кейін алғашқы 110 деректерде оқытылады және келесі 10-да сыналады және т.б. Бұл ескі деректер жаңа деректер сияқты болжау үшін де маңызды болған кезде пайдалы.

3. "Кейінге қалдырылған кезеңдермен" кросс-валидация (time series split). Бұл әдісте деректер жиынтығы дәйекті интервалдарға бөлінеді, мұнда әр итерацияда болашақта жаңа тест жиынтығы алынады, алдыңғы мәліметтер оқыту үшін қалады. Мысалы, оқыту үлгісі ағымдағы уақытқа дейінгі деректерді, ал сынақ үлгісі кейінгі кезеңдердегі деректерді қамтиды. Бұл әдіс тарихи деректерге негізделген болжау үшін жақсы жұмыс істейді, бұл зиянкестер санының динамикасымен жұмыс істеу кезінде маңызды, мұнда болашақты болжау үшін өткен факторларды ескеру қажет.

Кейбір ғалымдардың еңбектерінде "жылжымалы терезе" сияқты уақытты бөлу әдістері уақытша факторларға, соның ішінде зиянкестердің санына байланысты деректерді

талдауда тиімдірек екендігі көрсетілген [6]. Бұл әдістер модельдерге маусымдық және ұзақ мерзімді трендтерді жақсырақ түсіруге мүмкіндік береді, бұл әсіресе аграрлық саладағы нақты болжамдар үшін маңызды.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Кіріс деректері ретінде Қазақстан Республикасының барлық өңірлері бойынша соңғы 20 жылдағы топырақ бетінің температурасы, жауын-шашын, зерттеу алаңы, қоныстану алаңы ұсынылды. Мақсатты айнымалы зиянкестердің саны болды (нан жолақты бүргелер).

Зиянкестер санының динамикасын болжау моделі ретінде LSTM (Long Short-Term Memory) уақыт қатарларын тиімді өңдеу және деректердегі ұзақ мерзімді тәуелділіктерді есепке алу қабілетінің арқасында таңдалды. LSTM моделі әсіресе маусымдық және климаттық өзгерістер сияқты уақытша факторларды ескере отырып, алдыңғы мәндерге сүйене отырып, оқиғаларды болжау қажеттілігі бар тапсырмалар үшін пайдалы. Уақыт бойынша алыс оқиғаларды ұмытып кетуге бейім стандартты қайталанатын нейрондық желілерден (RNN) айырмашылығы, LSTM "ұзақ мерзімді жады" механизміне ие, бұл оған өткендегі маңызды үлгілерді сақтауға және пайдалануға мүмкіндік береді, сызықтық емес тәуелділіктері бар уақыт қатарлары үшін болжау дәлдігін жақсартады. Жұмыстарда [7], [8], [9], [10], [11] LSTM қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді тенденцияларды ескеру маңызды ауа-райы жағдайлары мен популяциялар саны сияқты уақыт қатарларын болжауда тиімді екенін дәлелдеді.

Деректерді дайындау үшін LSTM сияқты нейрондық желілермен жұмыс істеу үшін маңызды болып табылатын деректерді біртұтас масштабқа жеткізу үшін minmaxscaler әдісін қолдана отырып масштабтау процесі жүргізілді. Осыдан кейін деректер 12 айлық жылжымалы терезені пайдаланып уақыт қатарының форматына ауыстырылды. Бұл температура мен жауын-шашын сияқты белгілердің мәндеріндегі дәйекті өзгерістерді ескеруге мүмкіндік берді, бұл әсіресе уақытша факторларға қатты тәуелді зиянкестер санының динамикасын болжау үшін өте маңызды.

Модельді бағалау үшін уақытша кросс-валидация қолданылды, ол деректерді бөлуге мүмкіндік береді, осылайша тест жиынтықтары болашақта оқу жиынтығына қатысты болады. Бұл уақыт сериялары болжау тапсырмалары үшін маңызды, өйткені k-fold кросс-валидация сияқты стандартты әдістерді қолдану оқу және сынақ деректері арасындағы уақыттық тәуелділікті бұзып, бұрмаланған нәтижелерге әкелуі мүмкін. Қолданылған уақытша кросс-валидация әдісі хронологиялық реттілікті сақтай отырып, деректерді бірнеше оқу және сынақ жиынтықтарына бөлетін TimeSeriesSplit-ті қолдануға негізделген.

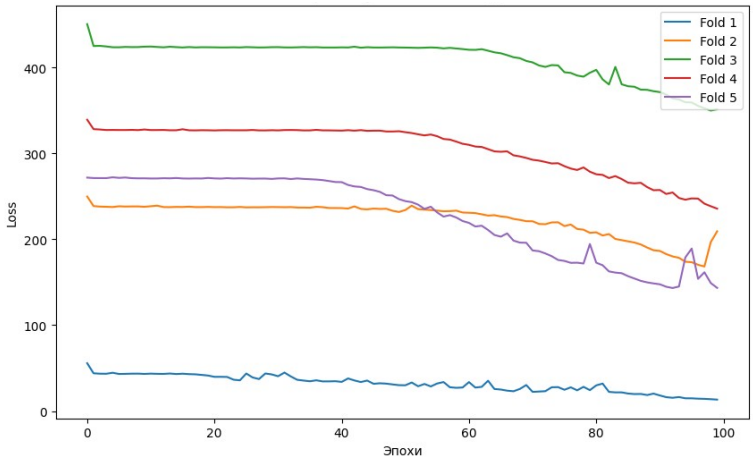
Модельді құру үшін LSTM нейрондық желі қолданылды, ол уақыт қатарларын өңдеуге қатысты тапсырмаларда тиімді екенін дәлелдеді. LSTM деректердегі қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді тәуелділіктерді ескеруге қабілетті, бұл оны зиянкестер санының динамикасын болжауға қолайлы етеді, өйткені мұндай модельдер жүйенің бұрынғы күйлері туралы ақпаратты ұзақ уақыт сақтай алады. Модель Adam оптимизаторы мен mean squared error жоғалту функциясын қолдана отырып, бірнеше дәуірлерде оқытылды.

LSTM архитектурасы бар нейрондық желі моделі әзірленді, оның ішінде зиянкестер санының динамикасын болжау үшін пайдаланылатын деректердің уақыт қатарларын өңдеуге арналған бірнеше қабаттар бар. Желі архитектурасы температура мен жауын-шашын сияқты уақытша деректерді, сондай-ақ зиянкестер санының көрсеткіштерін алатын кіріс қабатынан басталады. Әрі қарай, деректер уақытша тәуелділіктер мен айнымалылар арасындағы сызықтық емес байланыстарды тиімді қарастыра алатын бірнеше жасырын LSTM қабаттары арқылы беріледі. Әрбір LSTM блогының ішінде кіріс, ұмыту және шығыс шлюздері арқылы жадыны басқару механизмдері бар, бұл модельге тиісті ақпаратты сақтауға және жаңартуға мүмкіндік береді. LSTM соңғы қабатының шығуы уақытша

ауытқулар мен сыртқы факторларды ескеретін зиянкестер санының мәндерін болжайды.

3. Сандық есептеулер

Модель кросс-валидация стратегиясын қолдана отырып оқытылды, бұл оның қайта оқытуға төзімділігін арттыруға және сенімді болжамдарға кепілдік беруге мүмкіндік берді.

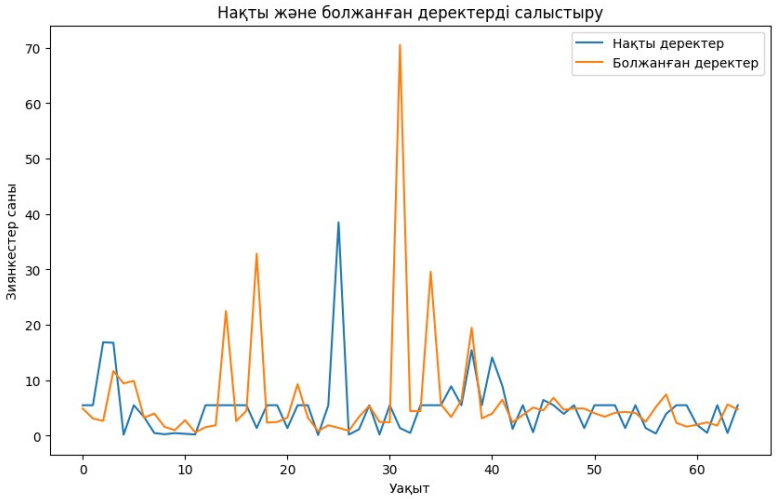


1-сурет. LSTM моделін оқыту

1-суретте кросс-валидацияда қолданылған бес қатпардың әрқайсысы үшін LSTM моделін оқыту кезінде қате динамикасы (Loss) ұсынылған. Графиктегі әрбір сызық қатпарлардың біріне сәйкес келеді және визуализация қатенің дәуірлердің көбеюімен қалай азаятынын көрсетеді. Жалпы, оқу процесі барлық қатпарлар үшін қатенің біртіндеп төмендеуімен бірге жүретіні байқалады, алайда қатенің азаю жылдамдығы мен соңғы мәндер қатпарлар арасында айтарлықтай ерекшеленеді.

1-қатпар ең төменгі қателік деңгейінен бастап және оны бүкіл оқу барысында тұрақты түрде төмендетуді жалғастыра отырып, ең жақсы нәтижелерді көрсетеді. Бұл модель берілген деректер жиынтығында тиімді оқытылатынын және оқу процесі басқа қатпарлармен салыстырғанда ең тұрақты екенін көрсетеді. 2-, 3- және 4-қатпарлардың бастапқы қате мәндері жоғары, 3- және 4-қатпарларда қатенің ең баяу төмендеуі байқалады. Бұл қатпарлардағы күрделі деректер құрылымын көрсетуі мүмкін, бұл модельді үйренуді қиындатады. 5-қатпарда қате де азайып бара жатқанымен, оқытудың аяқталуына жақын қатенің айтарлықтай ауытқуы бар, бұл модельдің осы қатпар деректерінде қайта оқытылуын көрсетуі мүмкін.

Әр түрлі қатпарлардағы модельдің мінез-құлқындағы айырмашылықты уақыт қатарларына тән мәліметтердің гетерогенділігімен түсіндіруге болады. Неғұрлым күрделі тәуелділіктерден немесе шулы деректерден тұратын қатпарлар модельге көбірек қиындықтар туғызады, бұл қатенің аз тиімді төмендеуінен және оқудағы ықтимал ауытқулардан көрінеді.



2-сурет. Нақты және болжанған деректерді салыстыру

2-суретте көрсетілген нақты және болжанған деректерді салыстыру графигінде екі мәндердің арасындағы айырмашылық едәуір зор емес екендігі анық. Бұл оқытудың сәтті өткендігін білдіреді, яғни нақты және болжанған зиянкестер саны жақсы өзара үйлеседі.

4. Қорытынды

Қорытындылай келе, жүргізілген зерттеу кросс-валидация әдістерін қолданудың және зиянкестер санының динамикасын болжау үшін тиісті модельдерді таңдаудың маңыздылығын көрсетеді. Біз кросс-валидацияның әртүрлі тәсілдерін талдадық, олардың ішінде уақыттық тәуелділіктер мен деректердегі маусымдық ауытқуларды ескеруге мүмкіндік беретін уақытша кросс-валидацияға көп көңіл бөлінеді. Біздің зерттеу нәтижесінде LSTM моделі таңдалды, ол уақыт қатарларын өңдеуде және ұзақ мерзімді тәуелділіктерді есепке алуда жоғары тиімділікті көрсетті. Эксперименттердің нәтижелері таңдалған модель зиянкестермен күресудің тиімді стратегияларын әзірлеу үшін маңызды болып табылатын нақты болжамдарды қамтамасыз ететінін көрсетті. Әрі қарайғы зерттеулер модельдердің архитектурасын жақсартуға және зиянкестер санына әсер ететін қосымша факторларды зерттеуге бағытталуы мүмкін, бұл болжау дәлдігін жақсартуға және тұрақты ауыл шаруашылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. *Abiodun O. I.* et al. Comprehensive review of artificial neural network applications to pattern recognition //IEEE access. – 2019. – Т. 7. – С. 158820-158846.
2. *Khaki S., Nettleton D.* Conformal prediction intervals for neural networks using cross validation //arXiv preprint arXiv:2006.16941. – 2020.
3. *Paneiro G., Rafael M.* Artificial neural network with a cross-validation approach to blast-induced ground vibration propagation modeling //Underground Space. – 2021. – Т. 6. – №. 3. – С. 281-289.
4. *Chen W. J., Yao J. J., Shao Y. H. Volatility forecasting using deep neural network with time-series feature embedding //Economic research-Ekonomska istraživanja. – 2023. – Т. 36. – №. 1. – С. 1377-1401.*
5. *Yates L. A. et al. Cross validation for model selection: a review with examples from ecology //Ecological Monographs. – 2023. – Т. 93. – №. 1. – С. e1557.*

6. *Kuppusamy Y. et al. Artificial neural network with a cross-validation technique to predict the material design of eco-friendly engineered geopolymer composites //Materials. – 2022. – Т. 15. – №. 10. – С. 3443.*
7. *Burgueño L., Cabot J., Gérard S.* An LSTM-based neural network architecture for model transformations //2019 ACM/IEEE 22nd International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems (MODELS). – IEEE, 2019. – С. 294-299.
8. *Li R.* et al. The LSTM-based advantage actor-critic learning for resource management in network slicing with user mobility //IEEE Communications Letters. – 2020. – Т. 24. – №. 9. – С. 2005-2009.
9. *Soutner D., Müller L.* Application of LSTM neural networks in language modelling //Text, Speech, and Dialogue: 16th International Conference, TSD 2013, Pilsen, Czech Republic, September 1-5, 2013. Proceedings 16. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – С. 105-112.
10. *Tao F., Liu G.* Advanced LSTM: A study about better time dependency modeling in emotion recognition //2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). – IEEE, 2018. – С. 2906-2910.
11. *Yu Y.* et al. A review of recurrent neural networks: LSTM cells and network architectures //Neural computation. – 2019. – Т. 31. – №. 7. – С. 1235-1270.

Шарипова Салтанат Еркиновна – кіші ғылыми қызметкер, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті;
010000, Астана; e-mail: salta_pvl@bk.ru;

Аканова Акерке Сапаровна – жоба жетекшісі, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті;
010000, Астана; e-mail: akerkegansaj@mail.ru;

Анарбекова Галия Абаевна – кіші ғылыми қызметкер, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті;
010000, Астана; e-mail: galiya2810@mail.ru

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВЫВОЗА И УТИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ В ЖАМБЫЛСКОМ РЕГИОНЕ

Ш.Е. Ахметжанова[1], Ж.О. Оралбекова[2], А.Д. Абдувалова[1], Т.К. Ешмаханова[1], Г.Ж. Баймырзаева[1], А. Шымырбек[3]

[1]Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

[2]Astana IT University, Астана, Казахстан

[3]Школа-гимназия №91 Акимата города Астаны, Казахстан

Аннотация. *В статье рассматриваются проблемы управления медицинскими отходами в Жамбылском регионе Казахстана. Объем медицинских отходов существенно вырос, что повысило необходимость более строгого контроля за их утилизацией. В рамках исследования предложено внедрение интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов, основанной на технологиях Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта. Описаны возможности использования таких технологий для повышения эффективности сбора, транспортировки и уничтожения отходов, а также оптимизации маршрутов и улучшения прозрачности процессов утилизации в Казахстане для достижения экологической устойчивости и улучшения охраны здоровья населения.*

Ключевые слова: *IoT технологии, искусственного интеллект; оптимизации маршрутов; мониторинг; медицинские отходы.*

Введение

С началом пандемии COVID-19, увеличение объема медицинских отходов стало одной из главных глобальных проблем, с которой столкнулся весь мир. Эта ситуация подняла вопросы безопасности утилизации медицинских отходов для населения и окружающей среды на новый уровень важности. В Казахстане, по данным Единая информационная система охраны окружающей среды Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан [1], по всем классам наблюдается рост количества медицинских отходов. Известно, медицинские отходы делятся по классам [2]:

- Класс А – эпидемиологически безопасные отходы, приближенные по составу к твердым бытовым отходам (далее – ТБО);
- Класс Б – эпидемиологически опасные отходы.
- Класс В – чрезвычайно эпидемиологически опасные отходы.
- Класс Г – токсикологически опасные отходы 1-4 классов опасности.
- Класс Д – радиоактивные отходы.

Большая часть медотходов представлена классом А, Б, В. В соответствии с санитарными нормами предусматривается их утилизация путем сжигания (инсинерации) в печах нового поколения, с соблюдением экологических требований. В Казахстане утилизацией таких отходов занимаются специальные лицензированные организации, владеющие инсинераторами. В которых полностью обезвреживаются и утилизируются отходы, благодаря воздействию на них высоких температур в процессе уничтожения и дальнейшей обработке в камере дожига. В их компетенции входит и транспортировка отходов до мест утилизации. Процесс сегрегации, хранения и маркировки отходов до их вывоза возлагается на медицинские учреждения. В рамках медицинской деятельности в Жамбылском регионе преобладает генерация медицинских отходов, представленных в основном классами А, Б и В. Согласно санитарным нормам, предусмотренным для данного

вида отходов, их утилизация осуществляется путем применения процесса инсинерации в современных печах, что сопровождается строгим соблюдением экологических стандартов.

В контексте Казахстана, специализированные лицензированные организации принимают на себя ответственность за утилизацию указанных медицинских отходов. Эти организации обладают современными инсинераторами, в которых происходит полное обезвреживание и утилизация медицинских отходов. Этот процесс достигается благодаря воздействию высоких температур в процессе уничтожения и последующей обработке в камере дожига.

Основными обязанностями указанных лицензированных организаций является также транспортировка медицинских отходов от их источников до мест утилизации. Сегрегация, хранение и маркировка медицинских отходов до момента их вывоза ложатся на плечи медицинских учреждений. Эти этапы являются частью комплексной системы управления медицинскими отходами, обеспечивая эффективный и соответствующий стандартам процесс утилизации данной категории отходов.

1. Постановка задачи

В настоящее время система учета и мониторинга процессов вывоза и утилизации медицинских отходов как в Жамбылском, так и в остальных регионах Казахстана, сталкивается с рядом серьезных проблем. Несмотря на разработку нормативных правил, регламентирующих требования к собственникам медицинских отходов по ежегодному внесению информации в уполномоченные органы по охране окружающей среды, в ряде регионов все еще сохраняется проблема ненадлежащего обращения с медицинскими отходами, включая их сжигание или сброс в не предназначенных для этого местах.

Проблема управления медицинскими отходами в Казахстане усугубляется фактами ненадлежащей утилизации, что подчеркивает необходимость ужесточения контроля в этой сфере. Исследования, посвященные решению такой проблемы рекомендуют внедрение передовых инновационных технологий с применением интернета вещей и методов искусственного интеллекта.

Также, проведенные интервью с представителями организации по вывозу и утилизации медицинских отходов в городе Тараз выявили существенные проблемы в информационной поддержке данного процесса. Отсутствие единой информационной системы для взаимодействия между организацией-подрядчиком и медицинскими учреждениями приводит к тому, что заявки на вывоз отходов оформляются вручную, в основном по телефону. Это увеличивает риск ошибок и злоупотреблений. К тому же, текущая система подтверждения корректности утилизации отходов основывается на предоставлении акта с необходимыми подписями и печатями, что не обеспечивает достаточной прозрачности и может привести к несоответствию фактического и зарегистрированного уровня утилизации.

Тема разработки интеллектуальных систем для мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов в мировой науке является относительно новым направлением. Несмотря на значительные достижения в технологиях и методологиях управления отходами, интеграция интеллектуальных систем, таких как IoT, искусственный интеллект и машинное обучение, в эти процессы все еще находится в стадии развития.

2. Литературный обзор

На сегодняшний день, в ряде развитых стран, как США, Германия, Япония, Австралия, Сингапур, Великобритания, Малайзия, Корея внедрены и используются интеллектуальные системы и современные технологии в сфере управления медицинскими отходами: Контейнеры «Smart Bins», RFID-отслеживание, GPS-слежение для оптимизации

маршрутов транспортных средств, Технологии переработки отходов в энергию, Роботизированная сортировка.

В научной литературе тема интеллектуальных технологий управления медицинскими отходами представлена достаточным количеством статей в индексируемых журналах и сборниках конференций. Многие работы посвящены обсуждению проблем в области утилизации медотходов и перспектив интеграции Интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта и машинного обучения в управление отходами для решения этих проблем. В работах [3], [4] авторы считают, что эти технологии могут оптимизировать маршруты сбора и процесса утилизации, контролировать практику утилизации и обеспечивать соблюдение правил утилизации медицинских отходов.

В исследованиях [6-8] рассматриваются перспективы внедрения интегрированной системы, основанной на IoT и дополненной ИИ с целью повышения эффективности и точности мониторинга медицинских отходов. Эти технологии включают системы отслеживания заполненности контейнеров, оптимизацию управления отходами в реальном времени, а также инновации в виде Radio-Frequency Identification (RFID) и смарт-контрактов. Например, [7], [9] предлагают использовать технологию RFID для сбора данных о биомедицинских отходах с минимизацией человеческого взаимодействия и создание государственной централизованной системы для обработки данных о биомедицинских отходах. В [6] предлагается использовать трехуровневую систему мониторинга всего процесса сбора, хранения, транспортировки и утилизации медицинских отходов. Эта структура включает больничный уровень, мониторинг на уровне городов и районный мониторинг. Этот подход может найти продолжение в исследованиях следующего уровня для интеграции с государственными хранилищами данных об отходах.

Использование моделей машинного обучения и нейронных сетей для умной обработки и классификации биомедицинских отходов рассматривается в работе [8], [13]. Это исследование подчеркивает роль интеллектуальных алгоритмов в оптимизации утилизации и обработки медицинских отходов.

В нескольких научных исследованиях акцент делается на применении технологии блокчейн в контексте управления различными видами отходов, включая медицинские. Блокчейн рассматривается как инструмент для улучшения прозрачности, эффективности и надежности процессов управления отходами [10-11]. Несмотря на перспективы использования, блокчейн-методы обладают недостатками, такими как сложность внедрения, проблемы конфиденциальности данных, масштабируемость и потребность в стандартизации [10]. Исследование [11] рассматривает модель надзора за медицинскими отходами, использующую технологии IoT и блокчейн. Это исследование представляет новый подход, показывая, как сочетание этих технологий может привести к более безопасному и эффективному управлению медицинскими.

Исследования [14-15] рассматривают применение глубокого обучения для классификации медицинских отходов, предлагая использовать нейронные сети для обучения моделей, способных автоматизированно классифицировать различные типы медицинских отходов.

3. Алгоритмы решения задач

Несмотря на обилие доступной информации, остается значительный пробел в исследованиях, касающихся практической разработки и внедрения интеллектуальных систем управления медицинскими отходами. В научной литературе основное внимание уделяется теоретическим основам и потенциальным преимуществам, но отсутствуют эмпирические данные о реальном применении и эффективности этих систем. Более того, решения в рамках этих исследований являются подсистемами муниципального управления общих отходов, не учитывая специфику медицинских отходов.

На текущий момент в Республике Казахстан не представлено исследований, посвященных данной проблематике. Доступны исследования от российских авторов по теме интеллектуального автоматизированного управления твердыми отходами. В [16] предлагается веб-приложение "Garbage Collector", для сбора и анализа обширных статистических данных о состоянии контейнерных площадок города, оснащенных датчиками. Однако в данной системе не учитываются особенности медицинских отходов.

Для проведения качественного анализа было осуществлено интервью с ключевыми заинтересованными сторонами, включая представителей органов власти, медицинских учреждений, предприятий по утилизации отходов и общественных организаций. В ходе беседы ставились вопросы, касающиеся текущего состояния и проблем, связанных с вывозом и утилизацией медицинских отходов, а также ожиданий и потребностей от внедрения интеллектуальной системы мониторинга. На основе контент-анализа были выявлены основные темы и категории, а также их взаимосвязи.

В ходе количественного анализа были собраны статистические данные о количестве, составе и классификации медицинских отходов, производимых в Жамбылском регионе, а также о методах их вывоза и утилизации. Дополнительно использовались данные о географическом расположении и маршрутах транспортных средств, оснащенных GPS-системой, введенной в рамках пилотного проекта по мониторингу медицинских отходов в 2020 году.

Качественный анализ данных выявил высокий уровень осведомленности и заинтересованности со стороны заинтересованных сторон в возможности внедрения интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов в Жамбылском регионе. Большинство респондентов высказали неудовлетворение текущим состоянием управления медицинскими отходами и выделили следующие основные проблемы:

• Недостаток контроля и прозрачности, что может способствовать нарушениям нормативов;

• Неэффективность маршрутов и расписаний, приводящая к задержкам, переполнению контейнеров и увеличению затрат;

• Недостаток информации и обратной связи;

• Негативное воздействие на здоровье и окружающую среду, обусловленное ненадлежащим обращением с медицинскими отходами, что повышает риск заражения, загрязнения и неприятных запахов.

Респонденты высказали мнение, что интеллектуальная система мониторинга может решить указанные проблемы и приносить выгоды. Однако были выделены потенциальные трудности и риски, связанные с внедрением интеллектуальной системы мониторинга, такие как высокая стоимость разработки, сложность обслуживания, недостаток квалифицированного персонала и правовое регулирование.

В свете выявленных проблем и потенциальных рисков респонденты предложили ряд рекомендаций для успешного внедрения интеллектуальной системы мониторинга:

• Детальное исследование и анализ потребностей заинтересованных сторон и альтернативных решений в области управления медицинскими отходами.

• Разработка и тестирование системы, учитывающей специфику и требования медицинской сферы, с применением современных технологий.

• Обеспечение финансирования и ресурсов для реализации и поддержки системы, включая поиск источников субсидий и грантов.

• Разработка правового регулирования, учитывающего интересы всех участников процесса управления медицинскими отходами.

• Обучение и консультирование персонала с целью предотвращения ошибок и повышения доверия к системе мониторинга.

• Мониторинг и оценка эффективности на основе собранных данных с целью внесения корректировок и улучшений.

Разработка и внедрение интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов представляет собой инновационное решение в области управления медицинскими отходами и позволит решить обозначенные выше проблемы. Его основная цель – внедрение интеллектуальной, интегрированной и комплексной системы, предназначенной для мониторинга и оптимизации всего процесса утилизации медицинских отходов, начиная от их выбросов в медицинских учреждениях и заканчивая окончательной утилизацией.

4. Заключение

Разработка и внедрение интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов не только обеспечивает строгое соблюдение существующих нормативно-правовых актов, регулирующих управление медицинскими отходами, но также позволяет повысить общую эффективность, прозрачность и результативность процесса утилизации отходов. На основе анализа возможностей и перспектив разработки и внедрения интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов с использованием интернета вещей (IoT), искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения, предлагаются новые методологии, которые могут коренным образом изменить способ управления медицинскими отходами в Казахстане, в конечном итоге способствуя лучшей экологической устойчивости в сфере общественного здравоохранения.

Данная работа выполнена в рамках научного проекта на грантовое финансирование по теме «Возможности и перспективы внедрения интеллектуальной системы мониторинга вывоза и утилизации медицинских отходов в Жамбылском регионе».

Список литературы

1. https://oos.ecogeo.gov.kz/

2. Приказ и.о. Министра здравоохранения Республики Казахстан от 25 декабря 2020 года № ҚР ДСМ-331/2020. Об утверждении Санитарных правил "Санитарно-эпидемиологические требования к сбору, использованию, применению, обезвреживанию, транспортировке, хранению и захоронению отходов производства и потребления"

3. M. Sharma, S. Dinesh Joshi, D. Kannan, K. Govindan. Internet of Things (IoT) adoption barriers of smart cities' waste management: An Indian context. May 2020. Journal of Cleaner Production 270(1):122047. DOI:10.1016/j.jclepro.2020.122047

4. Wang, C., Ma, Y., & Zhong, G. (2021). IoT Monitoring System of Medical Waste Based on Artificial Intelligence. 2021 7th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC), 2021, pp. 139-143, doi: 10.1109/ICNISC54316.2021.00034.

5. Nurul Hamizah Mohamed, Samir Khan, Sandeep Jagtap. (2023). Modernizing Medical Waste Management: Unleashing the Power of the IoT. Sustainability 2023, 15(13), 9909; https://doi.org/10.3390/su15139909. MDPI.com.

6. A. Ishaq, et al. Smart waste bin monitoring using IoT for sustainable biomedical waste management.Sustainable Waste Management using IoT and AI Technologies. (2023) https://doi.org/10.1007/s11356-023-30240-1

7. A. Hussain, U. Draz, et al. Waste Management and Prediction of Air Pollutants Using IoT and Machine Learning Approach Energies 2020, 13(15), 3930; https://doi.org/10.3390/en13153930

8. Raja Wasim Ahmad, Khaled Salah, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, Mohammed Omar, And Samer Ellahham. Blockchain-Based Forward Supply Chain and Waste Management for

COVID-19 Medical Equipment and Supplies. March 26, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3066503 3

9. Wang, H., Zheng, L., Xue, Q., & Li, X. (2022). Research on Medical Waste Supervision Model and Implementation Method Based on Blockchain. Security and Communication Networks, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/5630960

10. Banjar, H., Alrowithi, R., Alhadrami, S., Magrabi, E., Munshi, R., & Alrige, M. (2022). An Intelligent System for Proper Management and Disposal of Unused and Expired Medications. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(5). https://doi.org/10.3390/ijerph19052875

11. Kazaryan, M., Semenishchev, E. A., & Voronin, V. v. (2022). Global intelligent system for waste disposal objects monitoring using the discrete orthogonal transformations based on neural network remote sensing image processing. https://doi.org/10.1117/12.2625491

12. Zhou, H., Yu, X., Alhaskawi, A., et al. A deep learning approach for medical waste classification. Sci Rep 12, 2159 (2022). https://doi.org/10.1038/s41598-022-06146-2

13. Ker, J., Wang, L., Rao, J. & Lim, T. Deep learning applications in medical image analysis. IEEE Access 6, 9375–9389. https://doi.org/10.1109/access.2017.2788044 (2018).

14. X. Bian, Y. Chen, S. Wang, F. Cheng, and H. Cao, "Medical Waste Classification System Based on OpenCVand SSD-MobileNet for 5G," 2021 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops. https://doi.org/10.1109/ WCNCW49093.2021.9420036

15. Dr. Pooja Raundale et al, “IoT-based Biomedical Waste Classification, Quantification, and Management System”, 2017 International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC). https://doi.org/10.1109/ICCMC.2017.8282737

16. Степанова И.А., Степанов А.С. Обзор систем сбора и утилизации отходов в антропогенных экосистемах. Самарский научный вестник. 2020. том 9, № 2 (31). DOI 10.17816/snv202120

Ахметжанова Шынар Егеубаевна – к.т.н., и.о. ассоциированного профессора, Таразский университет им. М.Х.Дулати; 080000, Тараз; e-mail: shina_70@mail.ru

Оралбекова Жанар Орымбаевна – PhD, ассоциированный профессор, Astana IT University; 010000, Астана, e-mail: Zh.Oralbekova@astanait.edu.kz

Абдувалова Айнур Джумабаевна – к.т.н., ассоциированный профессор, Таразский университет им. М.Х.Дулати; 080000, Тараз; e-mail: abduvalova_ad@mail.ru

Ешмаханова Тамара Копжурсиновна – старший преподаватель, Таразский университет им. М.Х.Дулати; 080000, Тараз; e-mail: batir2010@bk.ru

Баймырзаева Гаухар Жаксликовна – старший преподаватель, Таразский университет им. М.Х.Дулати; 080000, Тараз; e-mail: gaukhar.baymyrzaeva@mail.ru
Шымырбек Айчурок – учитель, школа-гимназия №91 Акимата города Астаны; e-mail: aika_tolen@mail.ru

БІЛІМ БЕРУ ҮДЕРІСІНДЕ КОНЦЕПТУАЛДЫҚ ТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ: ОҚЫТУ МЕН ЗЕРТТЕУДІҢ ЖАҢА КӨКЖИЕКТЕРІ

М.Е. Мансурова, Ә.Ғ. Оспан, А.М. Мауленова , Б.П. Базарбек
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Мақалада блокчейн технологиялары сияқты күрделі тақырыптарды түсіну мен талдауды жақсартуға бағытталған концептуалды торларды оқу үдерісінде қолдану талқыланады. Концептуалды торлар блокчейннің әртүрлі аспектілері арасындағы байланыстарды құрылымдауға және визуализациялауға мүмкіндік береді, бұл студенттердің материалды тереңірек түсінуіне ықпал етеді. Мақалада концептуалды торларды құру әдістері егжей-тегжейлі сипатталған, сонымен қатар криптовалюталарды негізгі атрибуттар бойынша топтастыру үшін оларды пайдалану мысалдары келтірілген. Оқытуда концепциялық торларды пайдалану студенттердің талдау дағдыларын дамытуға және күрделі тақырыптарды жақсы түсінуге көмектеседі.*

Түйін сөздер: *блокчейн, концептуалды тор, криптовалюта, цифрлық қауіпсіздік, консенсус механизмі, NFT.*

Кіріспе

Сандық технологиялар өмірдің барлық саласына еніп жатқан заманауи әлемде білім берудің алдында жаңа құралдармен және платформалармен тиімді жұмыс істей алатын мамандарды дайындау міндеті тұр. Соңғы онжылдықтағы ең перспективалы және қарқынды дамып келе жатқан технологиялардың бірі – блокчейн. Оның әлеуеті деректерді басқару, цифрлық қауіпсіздік, смарт келісімшарттар және орталықсыздандырылмаған басқару сияқты салаларға қатысты криптовалюталар мен қаржылық транзакциялардан асып түседі. Осы тұрғыда блокчейн технологияларын оқыту инновациялық әдістер мен тәсілдерді қажет ететін заманауи білім беру процесінің құрамдас бөлігіне айналуда.

Блокчейн технологияларын білім беру үдерісіне енгізудің маңыздылығы қазіргі заманғы IT-сектордың осы салада терең білімі бар мамандарға деген сұранысымен байланысты. Алайда, блокчейнді оқыту Қазақстан университеттерінде әлі бастапқы сатыда, бұл тақырыптың жаңалығымен және оқытушылардың оны зерттеуге деген ынтасының төмендігімен түсіндіріледі. Формалды ұғымдарды талдау блокчейннің тізімдер, графтар сияқты негізгі деректер құрылымдарымен байланысын тереңірек түсінуге ықпал ете алады. Бұл блокчейнді информатика курстарына біріктіруге мүмкіндік беріп, студенттерде негізгі дағдыларды ерте кезеңде қалыптастыруға септігін тигізеді.

Концептуалдық торлар білімді ұйымдастыру мен құрылымдаудың құралы ретінде блокчейн технологияларын оқытуда маңызды рөл атқара алады. Олар блокчейннің криптографиялық негіздерінен бастап, орталықсыздандырылмаған және консенсус механизмдеріне дейінгі күрделі байланыстарды көрнекі түрде көрсетіп, студенттерге технологияны оңай түсінуге мүмкіндік береді. Білім беру үдерісінде концептуалдық торларды қолдану блокчейн технологияларын тереңірек түсінуге, күрделі ұғымдарды жеңіл меңгеруге және аналитикалық дағдыларды дамытуға ықпал етеді.

Бұл мақаланың мақсаты блокчейн технологияларын оқыту процесінде концептуалды торларды қолданудың маңыздылығы мен мүмкіндіктерін зерттеу болып табылады. Авторлар бұл тәсілдің студенттердің блокчейн туралы түсінігін жақсартуға, тиімді оқуды жеңілдетуге және блокчейннің маңызды рөл атқаратын әлемдегі нақты мәселелерді шешуге қалай дайындайтынын көрсетуге тырысады. Білім беру үдерісінде концептуалдық торларды қолданудың нақты мысалдары мен стратегияларын талдауға, сондай-ақ олардың оқытудың сапасы мен тиімділігіне әсерін бағалауға ерекше назар аударылады.

Әдістер

Концептуалды торды құрудың бірінші қадамы ресми контекст жасау болып табылады. Формалды контекст үш негізгі элементтен тұратын деректердің құрылымдық көрінісі болып табылады:

- Объектілер (G): Криптовалюталар туралы датасет жағдайында объектілер криптовалюталардың өздері болып табылады (мысалы, Bitcoin, Ethereum).

- Атрибуттар (M): Атрибуттар - бұл смарт келісімшарттарды, NFT, консенсус механизмдерін және т.б. қолдау сияқты объектілердің сипаттамалары немесе қасиеттері.

- Объектілер мен атрибуттар арасындағы байланыс (I): Қатынас қандай нысандардың қандай атрибуттары бар екендігі туралы ақпаратты білдіреді. Бұл қатынас әдетте кесте немесе матрица түрінде көрсетіледі [1].

Формалды контекстті анықтағаннан кейін келесі қадам концептуалдық тордың өзін тұжырымдау болып табылады. Концептуалды тор объектілерді ортақ атрибуттар бойынша анықтау және топтастыру арқылы қалыптасады, ол объектілер топтары мен атрибуттар арасындағы иерархиялық қатынастарды ашады. Бұл процесс арнайы алгоритмдер мен бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалана отырып автоматтандырылуы мүмкін.

Концептуалдық торды визуализациялау үшін «Graphviz» пайдалануға болады, ол DOT форматында граф сипаттамаларына негізделген диаграммалар жасауға арналған қуатты құрал. Процесс келесі қадамдарды қамтиды:

1. Орнату және дайындау: Ортада «graphviz» кітапханасының орнатылғанына көз жеткізу керек Мұны пакет менеджері арқылы жасауға болады.

2. «Digraph» экземплярын жасау: «Graphviz» кітапханасынан «Digraph» объектісін инициализациялау қажет, ол концептуалдық тордың негізі болады.

3. Түйіндер мен қабырғаларды қосу: Графқа әр объекті мен атрибут үшін түйіндер қосып, олардың арасындағы қатынастарды көрсететін қабырғаларды қосу кеек. Түйіндер нақты криптовалюталарды немесе атрибуттар топтарын білдіруі мүмкін.

4. Визуализациялау және сақтау: Барлық қажетті түйіндер мен қабырғалар қосылғаннан кейін, графты визуализациялап, таңдаған форматта сақтауға болады [2].

«Graphviz» құралын концептуалдық торларды визуализациялау үшін пайдалану объектілер мен атрибуттар арасындағы күрделі қатынастарды айқын көрсетуге мүмкіндік береді, бұл олардың түсінігін интуитивті түрде жеңілдетеді.

Эксперимент және нәтижелер: Экспериментті жүргізу үшін біз 8 валюта түрі мен 15 атрибуттан тұратын криптовалюталар туралы датасетты пайдаландық (1-сурет).

	Cryptocurrency	Decentralization	Smart Contract	Privacy	Scalability	Proof of Work	Proof of Stake	Limited Supply	Mainstream Adoption	Cross-Chain	Exchange Availability	Mining Requirement	Governance Model
0	Bitcoin (BTC)	Yes	No	No	No	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No
1	Ethereum (ETH)	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes
2	Ripple (XRP)	No	Yes	No	Yes	No	No	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes
3	Litecoin (LTC)	Yes	No	No	No	Yes	No	Yes	Moderate	No	Yes	Yes	No
4	Monero (XMR)	Yes	Limited	Yes	No	Yes	No	Yes	Limited	No	Moderate	Yes	No
5	Cardano (ADA)	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Moderate	No	Yes	No	Yes
6	Polkadot (DOT)	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Moderate	Yes	Yes	No	Yes
7	Chainlink (LINK)	Yes	Yes	No	Yes	No	No	No	Moderate	Yes	Yes	No	No

1-сурет. Криптовалюталар туралы датасет

Осы деректерден формалды тақырыптық контексттерді құру үшін бізді қай тақырыптар немесе аспектілер қызықтыратынын шешуіміз керек. Ықтимал бағыттар мыналарды қамтуы мүмкін [3]:

1. Консенсус механизмі бойынша криптовалюталарды топтастыру.

2. Құпиялылық функцияларының қолжетімділігі бойынша топтастыру.

3. Смарт келісімшарттар мен NFT қолдау көрсету тобы.

4. Масштабтауды және энергия тиімділігін талдау.

Криптовалюталарды консенсус механизмі бойынша топтастыру үшін, біз "Proof of Work" және "Proof of Stake" бағаналарындағы мәндерге негізделген бірнеше тақырыптық қосымша ішкі жиынтықтар құра аламыз. Бұл қосымша ішкі жиынтықтар бізге қандай криптовалюталар аталған консенсус механизмдерін қолданатынын анықтауға, сондай-ақ екі механизмді де қолданатын немесе екеуін де қолданбайтын криптовалюталарды анықтауға мүмкіндік береді. Консенсус механизмдеріне сүйене отырып, криптовалюталар келесі топтарға бөлінді:

- Proof of Work (PoW): 3 криптовалюта осы консенсус механизмін қолданады.
- Proof of Stake (PoS): 3 криптовалюта осы консенсус механизмін қолданады.
- Both Proof of Work and Proof of Stake: Осы консенсус механизмдерін бір мезгілде пайдаланатын криптовалюталар жоқ.
- Neither: 2 криптовалюта осы консенсус механизмдерін біреуін де қолданбайды.

Бұл бөлу криптовалюталардың өз желілерінде консенсусты қамтамасыз ету үшін қандай механизмдерді қолданатынын көрсетеді.

Төменде консенсус механизмдері бойынша топтастырылған криптовалюталардың толық тізімі берілген [4]:

- Proof of Work (PoW):
- Bitcoin (BTC)
- Litecoin (LTC)
  - Monero (XMR)
- Proof of Stake (PoS):
  - Ethereum (ETH)
  - Cardano (ADA)
  - Polkadot (DOT)
- Both Proof of Work and Proof of Stake: Бұл топта криптовалюта жоқ.
- Neither (консенсусқа қол жеткізу үшін PoW немесе PoS қолданбайтын криптовалюталар)
- Ripple (XRP)
  - Chainl үшін қандай тәсілдерді таңдайтынын көруге көмектеседі.

Смарт-келісімшарттар мен NFT қолдауға байланысты криптовалюталарды топтастыру үшін төрт топ құрамыз:

1. Смарт-келісімшарттарды да, NFT де қолдайды.
2. Тек смарт-келісімшарттарды қолдайды, бірақ NFT қолдамайды.
3. Тек NFT қолдайды, бірақ смарт-келісімшарттарды қолдамайды.
4. Смарт-келісімшарттарды да, NFT де қолдамайды.

Сондай-ақ төменде смарт келісімшарт пен NFT қолдауына негізделген криптовалюталардың толық тізімі берілген:

- Смарт келісімшарттарды да, NFT де қолдайды: Ethereum (ETH), Кардано (ADA), Polkadot (DOT), Chainlink (LINK).
- Тек смарт-келісімшарттарды қолдайды, бірақ NFT қолдамайды: Бұл топта криптовалюталар табылмады.
- Тек NFT қолдайды, бірақ смарт-келісімшарттарды қолдамайды: Бұл топта криптовалюталар табылмады.
- Смарт-келісімшарттарды да, NFT де қолдамайды: Bitcoin (BTC) және Litecoin (LTC).

Бұл жіктеу кейбір криптовалюталардың смарт келісімшартқа және NFT экожүйесіне толығымен біріктірілгенін көрсетеді, ал басқалары осы трендтен тыс қалады.

Смарт келісім-шарттар мен NFT қолдауы бойынша криптовалюталарды топтастыру нәтижелеріне негізделген концепттердің ресми торын жасау үшін біз нысандарды, атрибуттарды және олардың ресми контексттегі қатынастарын анықтауымыз керек.ink (LINK).

• Объектілер: Криптовалюталар (мысалы, Ethereum, Bitcoin).

• Атрибуттар: Смарт-келісімшарттарды қолдау, NFT қолдау.

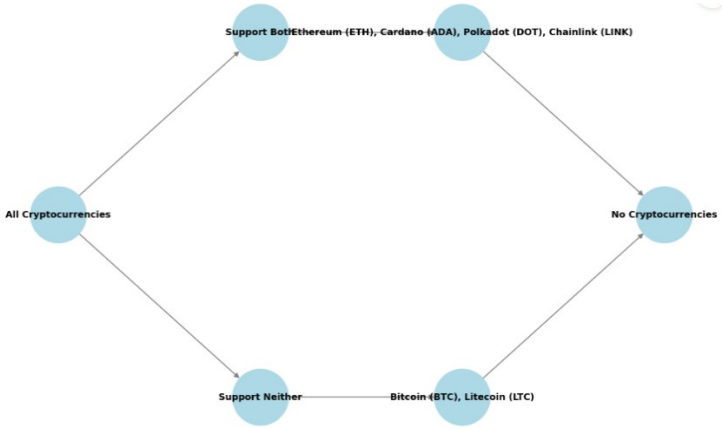
Осы деректерге сүйене отырып, біз торды құра аламыз, онда әрбір түйін (немесе «концепт») ортақ атрибуттар жиынтығымен біріктірілген криптовалюталар тобын көрсетеді. Мысалы, тордың жоғарғы жағында барлық криптовалюталарды қамтитын концепт болады (өйткені олардың барлығында кем дегенде бір ортақ атрибут бар), ал төменгі жағында қарастырылатын атрибуттардың кез келгеніне сәйкес келетін криптовалютасыз концепт болады [5].

Нақты концепттер мыналарды қамтуы мүмкін:

- Смарт келісімшарттарды да, NFT де қолдайтын криптовалюталар (мысалы, Ethereum).

- Смарт келісімшарттарды да, NFT де(мысалы, Bitcoin) қолдамайтын криптовалюталар.

Келесі қадам — бұл торды визуалды түрде қалыптастыру. Ол үшін алдыңғы талдаудан алынған ақпаратты пайдаланып, формалды тордың құрылымын көрсететін қарапайым диаграмманы құрастырамыз (2-сурет).



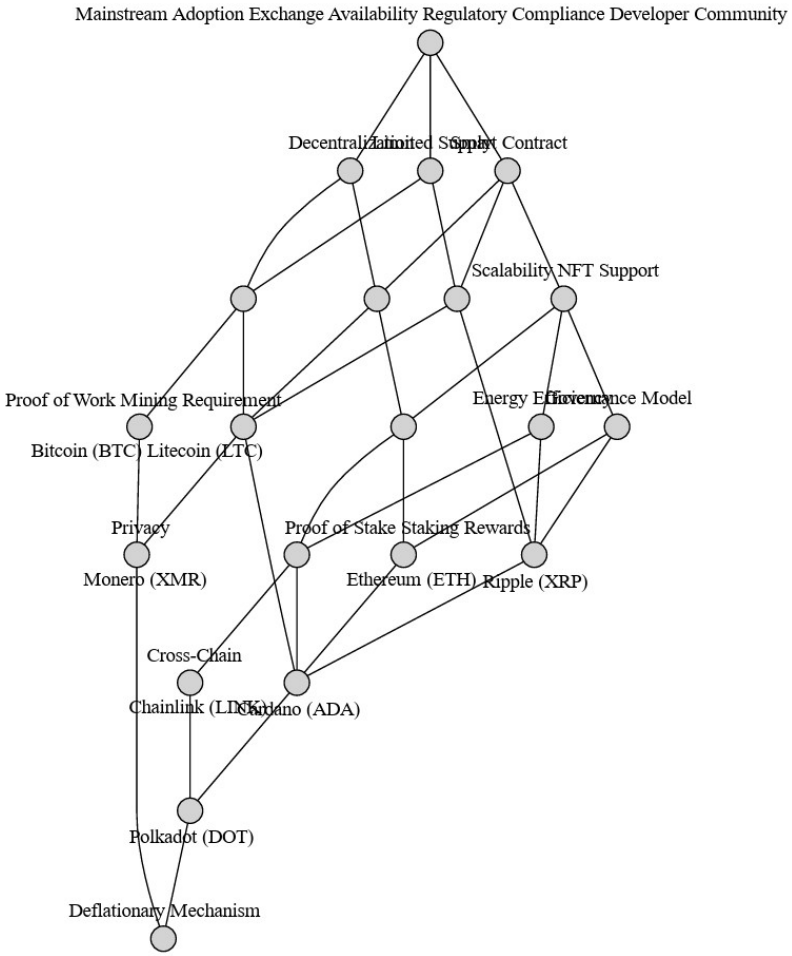
2-сурет. Смарт келісімшарттар мен NFT қолдайтын криптовалюталарды көрсететін ресми тор

Диаграммада смарт-келісімшарттарды және NFT қолдауына байланысты топтастырылған криптовалюталардың формалды торы көрсетілген. Тордың жоғарғы бөлігінде барлық криптовалюталар орналасқан, содан кейін екі атрибутты да қолдайтын және оларды қолдамайтын топтар келесідей орналасқан. Смарт-келісімшарттарды да, NFT де қолдайтын нақты криптовалюталар, мысалы, Ethereum (ETH), Cardano (ADA), Polkadot (DOT) және Chainlink (LINK), орта деңгейде орналасқан. Сонымен қатар, смарт-келісімшарттарды да, NFT де қолдамайтын Bitcoin (BTC) және Litecoin (LTC) орта деңгейде, бірақ басқа тармақта орналасқан. Төменгі деңгейде атрибуттарға сәйкес келмейтін криптовалюталар жоқ концепттер орналасқан.

Бұл тор криптовалюта контекстінде осы атрибуттардың құрылымдық көрінісін көрсете отырып, смарт келісімшарттар мен NFT қолдауына негізделген криптовалюталар арасындағы қарым-қатынастарды визуализациялауға көмектеседі.

Енді біз 15 атрибут үшін күрделі торды құрастыруымыз керек, ол әртүрлі криптовалюталар мен олардың атрибуттары арасындағы концептуалды байланыстардың

күрделі құрылымын көрсетеді, бұл концептуалды торды қалыптастырудың негізін құрайды. Нәтиже криптовалюталар (мысалы, Ethereum (ETH), Bitcoin (BTC), Ripple (XRP)) және олар бөлісетін негізгі сипаттамалар (мысалы, орталықсыздандыру, смарт-келісімшарттарды қолдау, жеке өмірді қорғау) арасындағы байланыстардың қабатты құрылымын көрсетеді (3-сурет).



3-сурет. Криптовалюталардың барлық түрлері үшін ресми контексттердің концептуалды торы

Бұл қатынастар атрибуттар мен объектілердің иерархиялық құрылымы болып табылатын концептуалды торды құрайды.

- 1-деңгей (Негізгі атрибуттар): жаппай қабылдау мүмкіндігі, биржада қолжетімділік және реттеуші талаптарға сәйкестік сияқты датасеттағы барлық криптовалюталарға ортақ атрибуттарды қамтитын ең ауқымды деңгей.

- 2-деңгей (арнайы атрибуттар): Бұл деңгейде криптовалюталар смарт келісім-шарттарға қолдау көрсету немесе жұмыс дәлелі немесе үлесті растау сияқты консенсус механизмдері сияқты арнайы атрибуттарға топтастырыла бастайды.

- 3-деңгей (Бірегей атрибуттар): Мұнда криптовалюталар Monero үшін құпиялылық (XMR) немесе Chainlink (LINK) үшін тізбекті транзакцияларды қолдау сияқты бірегей атрибуттармен ерекшеленеді.

- Төбелер (Жеке криптовалюталар): Әрбір криптовалюта тордың жоғарғы жағында өзіндік атрибуттар жиынтығымен жеке түрде ұсынылған. Мысалы, Ethereum (ETH) смарт-келісімшарттарды, Proof of Stake және NFT қолдаумен байланысты [6].

Бұл иерархиялық құрылым пайдаланушылар мен зерттеушілерге ортақ мүмкіндіктерді де, бірегей атрибуттарды да анықтай отырып, олардың негізгі сипаттамалары негізінде криптовалюталарды тиімді талдауға және салыстыруға мүмкіндік береді.

Алынған концептуалды торды визуализациялау үшін Graphviz қолдануға болады, бұл криптовалюталар мен олардың атрибуттары арасындағы иерархия мен байланыстарды көрне-кі түрде көрсетеді. Мұндай диаграмманы құру күрделі қатынастарды түсінуді жеңілдетуге көмектеседі және криптовалюталардың қасиеттерін тереңірек талдауға ықпал етеді. Талдау нәтижелерін пайдалана отырып, әртүрлі криптовалюталардың ортақ және бірегей атрибуттарын бөліп көрсете отырып, концептуалды тордың құрылымын егжей-тегжейлі сипаттауға болады.

Қорытынды

Концептуалдық тор әдістемесін қолдана отырып, криптовалюта датасетын зерттеу блокчейн экожүйесінің күрделі құрылымын түсіну үшін жаңа перспективаларды ашты. Талдау блокчейн технологиясының криптовалюталардың алуан түрлілігі мен олардың бірегей сипаттамалары арқылы көрінетін терең көп өлшемділікке ие екенін көрсетті. Талдаудың маңызды нәтижелері блокчейн технологияларын оқыту мен зерттеудегі концептуалдық торлардың рөлін көрсетеді:

1. Концептуалды торлар блокчейн технологиясының негізгі қолданбалардан тыс кең ауқымын көрсетеді. Бұл осы саладағы инновациялар мен даму мүмкіндіктерінің байлығын көрсетеді.

2. Талдау орталықсыздандыру, смарт келісімшартты қолдау, масштабтау және құпиялылық сияқты атрибуттар арасындағы күрделі қатынастарды анықтады. Бұл технология таңдауы криптовалюталардың функционалдығы мен қауіпсіздігіне қалай әсер ететінін жақсы түсінуге көмектеседі.

3. Концептуалды тор әдістемесі криптовалюталардың анық және құрылымдық жіктелуін қамтамасыз етті, бұл олардың айырмашылықтары мен ұқсастықтарын түсінуді жеңілдетеді. Бұл әсіресе күрделі ұғымдарды қол жетімді және көрнекі түрде ұсыну қажет білім беру мақсаттары үшін өте маңызды.

4. Жаңа блокчейн жобаларын жасағысы келетін әзірлеушілер мен кәсіпкерлер үшін концептуалдық торлар олардың сипаттамалары мен жоба талаптарына негізделген әртүрлі блокчейн платформалары мен технологияларын талдау және салыстыру үшін құнды құрал ретінде қызмет ете алады.

Блокчейн технологиялары бойынша оқу үдерісінде концептуалды торларды қолдану осы саланы терең және жүйелі түрде түсінуді қалыптастыруда маңызды рөл атқарады. Бұл тәсіл оқушылардың сыни ойлауы мен аналитикалық қабілеттерін дамытуға ықпал етеді, ақпаратты есте сақтап қана қоймай, сонымен қатар технологияның логикалық байланыстары мен принциптерін түсінуге мүмкіндік береді. Концептуалды торлар оқуды жеңілдететін және тереңірек түсінуге ықпал ететін құрылымдық, көрнекі қолжетімді ақпаратты ұсынуды қамтамасыз етеді.

Нәтижесінде блокчейн технологияларын оқытуда концептуалды торларды қолдану студенттердің білімін байытып қана қоймайды, сонымен қатар оларды блокчейн шешімдерін әзірлеу мен қолдануда саналы және сауатты қатысуға дайындайды. Бұл әдіс блокчейн технологияларымен тиімді жұмыс істей алатын және олардың дамуына үлес қоса алатын мамандардың жаңа буынын даярлаудың негізгі құралына айналуда.

Алғыс

Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым комитетінің AP19679514 «Мәтіндерді интеллектуалды талдауды және формальды ұғымдарды талдауды қолдана отырып,

«Блокчейн» доменінің тұжырымдамалық аппаратын зерттеу: фокус және оқыту әдістемесі» қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

Әдебиеттер тізімі

1. Sumangali K., Ch Aswani Kumar, Concept Lattice Simplification in Formal Concept Analysis Using Attribute Clustering. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing. 2018;10(6):2327-43.
2. Cui H, Yue G, Zou L, Liu X, Deng A. Multiple multidimensional linguistic reasoning algorithm based on property-oriented linguistic concept lattice. International Journal of Approximate Reasoning. 2021;131:80-92.
3. Hao, F., J. Gao, C. Bisogni, G. Min, V. Loia and C. De Maio (2021). "Stability of three-way concepts and its application to natural language generation." Pattern Recognition Letters 149: 51-58.
4. Chang, M., G. D'Aniello, M. Gaeta, F. Orciuoli, D. Sampson and C. Simonelli (2020). "Building Ontology-Driven Tutoring Models for Intelligent Tutoring Systems Using Data Mining." IEEE Access 8: 48151-48162.
5. Cristea, D., D. Şotropa, A.-J. Molnar and S. Motogna (2021). On the Use of FCA Models in Static Analysis Tools to Detect Common Errors in Programming. Graph-Based Representation and Reasoning: 3-18.
6. Hao F, Gao J, Bisogni C, Min G, Loia V, De Maio C. Stability of three-way concepts and its application to natural language generation. Pattern Recognition Letters. 2021;149:51-8.

Мансурова Мадина Есимхановна – профессор.. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail:; mansurova.madina@gmail.com

Оспан Әсел Ғалымжанқызы – аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: asselyaospan@gmail.com

Мауленова Алма Мухитовна – магистрант . әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: maulenova_alma@mail.ru

Базарбек Жания Пархатқызы – аға оқытушы . әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: zhaniya.bazarbek1998@gmail.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕСІНІҢ КӨМЕГІМЕН АҚЫЛДЫ ШАҢ СОРҒЫШТЫ БАСҚАРУ

А.Қ. Гилымов, А. Асет
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Бұл мақала ақылды шаң сорғыштарды интеллектуалды жүйелердің көмегімен басқару мүмкіндіктерін түсіндіру мақсатында жазылды. Ол құрылғының жұмысының тиімділігін, экологиялық артықшылықтарын және пайдаланушыларға тигізетін пайдасын көрсетуге бағытталған.Сондай-ақ ардуино және датчиктер көмегімен ақылды шаңсорғыш жасау қадамдары да қамтылған.Мақала заманауи технологиялардың тұрмыстық техникадағы рөлін ашып, олардың болашағы жайлы ақпарат береді.*

Кілттік сөздер: *Ақылды шаң сорғыш, интеллектуалды басқару жүйесі, жасанды интеллект (AI), сенсорлар, деректерді талдау, заттар интернеті (IoT), қашықтықтан басқару, экологиялық аспектілер, уақытты үнемдеу, автоматтандыру.*

Кіріспе

XXI ғасыр – инновациялық технологиялар мен ақылды құрылғылардың дамыған кезеңі. Үй шаруашылығында қолданылатын заманауи құрылғылардың бірі – ақылды шаң сорғыштар. Бұл құрылғылар жасанды интеллект (AI) және интеллектуалды басқару жүйелерінің көмегімен толық автоматтандырылған және тиімді жұмыс істейді. Мұндай технологиялар үй жұмысын жеңілдетіп қана қоймай, энергияны үнемдеуге және уақытты тиімді пайдалануға мүмкіндік береді. Осы мақалада ақылды шаң сорғыштарды интеллектуалды басқару жүйелерінің көмегімен қалай оңтайландыруға болатынын қарастырамыз.

1. Ақылды шаңсорғыш сипаттамалары

Ақылды шаң сорғыштардың жалпы сипаттамасына тоқталсақ ақылды шаң сорғыштар – толықтай автоматтандырылған, өздігінен қозғалатын құрылғылар. Олар сенсорлар мен арнайы бағдарламалар арқылы бөлменің картасын жасап, барлық бұрышты тазалауға тырысады. Көптеген модельдерде шаң жинағышқа толғанын анықтау, кілем немесе еден жабындыларын тану секілді мүмкіндіктер бар. Бұл технологиялардың негізгі мақсаты – үйді пайдаланушының қатысуынсыз тазалап шығу.

Интеллектуалды басқару жүйесінің мүмкіндіктеріне тоқталсақ ақылды шаң сорғыштарда қолданылатын интеллектуалды басқару жүйелері бірнеше маңызды функцияларды орындайды:

1. Навигация: Лидар немесе камера жүйелері арқылы шаң сорғыш бөлменің картасын жасайды, кедергілерді айналып өтіп, ең тиімді тазалау маршруттарын анықтайды. Бұл құрылғыларға кез келген үйді автоматты түрде зерттеуге және тазалауға мүмкіндік береді.

2. Оқытылу мүмкіндігі: Жасанды интеллект арқылы шаң сорғыш әрбір тазалау сессиясында үйдің ішкі картасын жақсартып, қай аумақтар ең ластанғанын "үйренеді". Бұл жүйе уақыт өте келе тиімділігін арттырып, үйдің белгілі бір аймақтарын ерекше назарға алады.

3. Энергия үнемдеу және тиімділік: Жұмыстың аяқталуына жақындаған шаң сорғыш заряд деңгейін ескере отырып, өз базасына қайтып, зарядталып алады. Тиімді жоспарлау жүйесі арқылы құрылғы энергияны минималды түрде жұмсайды.

4. Дыбысты тану: Көптеген ақылды шаң сорғыштарда дыбысты тану жүйелері енгізілген. Бұл жүйе пайдаланушының дауысын тану және командаларды орындау арқылы құрылғының жұмысын басқаруға мүмкіндік береді. Мысалы, пайдаланушының дауыстық

бұйрығымен құрылғыны іске қосуға немесе белгілі бір аумақты тазалауға бұйрық беруге болады.

1-сурет. Ақылды шаңсорғыштардың соңғы үлгілерінің заманауи бейнесі

Жасанды интеллекттің рөлі Ақылды шаң сорғыштардағы ең маңызды элемент – жасанды интеллект. Ол құрылғының жұмысын оңтайландырып, шаң сорғыштың әрбір қозғалысы мен шешімін тиімді етеді. Жасанды интеллект жүйесі келесі аспектілерде рөл атқарады:

- Тапсырмаларды орындау уақытының қысқаруы: Интеллектуалды жүйе арқылы шаң сорғыш ең қысқа жолдарды таңдап, тиімді жұмыс кестесін анықтайды. Осылайша, тазалау уақыты едәуір қысқарады.

- Кедергілерді айналып өту: жасанды интеллект жүйесі арқылы шаң сорғыш әртүрлі кедергілерді тану және олардан тиімді айналып өту қабілетіне ие. Бұл оны үйде кішкентай балалар, жануарлар немесе жиһаздардың көп болуына қарамастан тиімді жұмыс істеуге бейімдейді.

Ақылды шаң сорғыштарды басқарудың болашағы интеллектуалды жүйелердің дамуымен шаң сорғыштардың мүмкіндіктері де кеңейіп келеді. Әлемдік технологиялық компаниялар жасанды интеллекттің арқасында үй ішіндегі барлық құрылғылардың бір жүйеде жұмыс істеуін қамтамасыз етуді мақсат етеді. Бұл жүйелер бір-бірімен байланыс орнатып, деректерді ортақ қолдану арқылы әртүрлі құрылғылардың жұмысын үйлестіреді. Мысалы, шаң сорғыш тек үйдің картасын жасамай, сонымен қатар жарық және температура сенсорларын пайдаланып, үйдің жайлы жағдайын реттеуге қатыса алады.

Сонымен қатар, интеллектуалды шаң сорғыштар болашақта басқа үй шаруашылығындағы ақылды құрылғылармен тығыз байланыста жұмыс істей алады. Бұл мүмкіндік пайдаланушыларға үйлерін қашықтықтан басқару және бақылауға ыңғайлы мүмкіндік береді.

Шаң сорғыштардағы сенсорлар және деректерді талдауда ақылды шаң сорғыштардың жұмысын жетілдіруде сенсорлар мен деректерді талдау үлкен рөл атқарады. Құрылғының бетпе-бет келетін әрбір кедергісін, шаң мөлшерін және еденнің түрін анықтау үшін түрлі сенсорлар қолданылады. Мысалы, шаң сорғышта орнатылған инфрақызыл немесе ультрадыбыстық сенсорлар кедергілерді анықтап, құрылғының соқтығысудан сақтануын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, құрылғы деректерді жинау арқылы қай аумақты қаншалықты жиі тазалау қажеттігін анықтайды.

Сенсорлардан алынған деректер жасанды интеллект жүйесі арқылы өңделіп, болашақ тазалау процестерін оңтайландыруға қолданылады. Бұл мүмкіндік шаң сорғыштың жұмысын анағұрлым тиімді етіп, қуат көзін үнемдеуге ықпал етеді. Сондай-ақ, жиналған

мәліметтерді талдау арқылы құрылғының тазалау өнімділігі мен дәлдігін жақсартуға болады.

Қашықтықтан басқару және IoT технологиялары интернет заттар (IoT) технологияларының дамуы ақылды шаң сорғыштардың қашықтықтан басқару мүмкіндігін кеңейтті. Пайдаланушылар мобильді қосымшалар немесе дауыстық көмекшілер арқылы шаң сорғыштың жұмысын кез келген жерден бақылай алады. IoT технологияларының арқасында құрылғылар арасында деректер алмасу жеңілдетіліп, шаң сорғыш пен басқа ақылды құрылғылар бір-бірімен интеграцияланады. Мысалы, үйдегі температураны реттейтін ақылды термостат пен шаң сорғыш бір уақытта жұмыс істеп, үйдің жайлылығын арттыра алады.

Бұл технологиялар пайдаланушыларға ыңғайлы болуымен қатар, үйде болмаған кезде де тазалау жұмыстарын тиімді ұйымдастыруға мүмкіндік береді.

Ақылды шаң сорғыштардың экологиялық аспектілері ақылды шаң сорғыштардың экологиялық аспектілері қазіргі таңда маңызды тақырыптардың бірі болып табылады. Тазалау процесінде пайдаланылатын энергияны үнемдеу ғана емес, сонымен қатар экологиялық таза материалдарды қолдану да назарға алынып жатыр. Заманауи шаң сорғыштар, көбінесе, қайта өңделетін материалдардан жасалған, бұл оларды экологиялық тұрғыдан тұрақты етеді. Бұдан бөлек, ақылды шаң сорғыштар шаң мен аллергендерді тиімді түрде жинау арқылы үйдің ауасын тазартуға көмектеседі. Фильтр жүйелері, мысалы, HEPA фильтрі, ауадағы зиянды бөлшектерді жоюға көмектесіп, тұрғындардың денсаулығына оң әсер етеді. Осылайша, ақылды шаң сорғыштар экологиялық және денсаулыққа пайдалы шешімдер ұсына отырып, заманауи үй шаруашылығына оң ықпалын тигізеді.

Пайдаланушыларға арналған артықшылықтар ақылды шаң сорғыштар пайдаланушыларға көптеген артықшылықтар ұсынады. Біріншіден, уақытты үнемдеу – басты артықшылық. Тазалау процесін автоматтандыру арқылы пайдаланушылар өздерінің бос уақытын тиімді пайдалана алады. Екіншіден, технологиялық прогресс пен интуитивті интерфейстер арқылы кез келген адам, тіпті технологиямен таныс емес адамдар да, шаң сорғышты оңай пайдалана алады. Сонымен қатар, қолданушыларға лайықталған дауыстық басқару функциясы, олардың шаң сорғышты қашықтан басқару мүмкіндігін береді. Тазалау уақыты мен кестесін белгілеу, құрылғының күйін бақылау, сондай-ақ қажетті тазалау режимін таңдау – бұл бәрі де пайдаланушының қолында. Ақылды технологиялар тұрғындардың өмір сүру сапасын арттырып, тұрмыстық міндеттерді жеңілдетеді.

2. Ардуино арқылы қарапайым ақылды шаңсорғыш жасау қадамдары

1. Қажетті компоненттерді жинау:

Алдымен барлық қажетті бөлшектерді дайындап алу керек:

- Arduino Uno немесе басқа Arduino платасы
- Ультрадыбыстық датчик (HC-SR04) – кедергілерді анықтау үшін
- DC моторлары – қозғалысты қамтамасыз ету үшін
- Мотор драйвері (L298N) – моторларды басқару үшін
- Электр сорғыш немесе кішкентай желдеткіш – шаң соруды имитациялау үшін
- Қуат көзі (батареялар немесе аккумулятор)
- Шасси, дөңгелектер және сымдар – шаңсорғыштың құрылымын жасауға қажет

2. Электрлік схеманы құрастыру:

Барлық компоненттерді бір-біріне дұрыс жалғау қажет. Ардуино ультрадыбыстық датчиктер арқылы кедергіні анықтайды, ал мотор драйвері арқылы моторларды және сорғыш құрылғысын басқарады.

- Ультрадыбыстық датчиктің Trig және Echo пиндерін Arduino-ға қосыңыз.

- Мотор драйвері арқылы екі DC моторды қосыңыз, олар шаңсорғыштың қозғалуы үшін пайдаланылады.

- Сорғыш құрылғысын Arduino-ға реле модулі арқылы жалғаңыз.

3. Ультрадыбыстық датчикті орнату:

Ультрадыбыстық датчик шаңсорғыштың алдыңғы бөлігіне орнатылады. Ол кедергілерді анықтап, қашықтықты өлшейді. Бұл датчик құрылғының бағытын өзгертуді қамтамасыз етеді.

4. Моторларды басқару:

L298N мотор драйвері арқылы екі DC мотордың қозғалысын басқарамыз. Бұл моторлар шаңсорғыштың алға, артқа және бұрылып жүруін қамтамасыз етеді. Әр моторды өз орнынан орнатып, оны шаңсорғыштың дөңгелектеріне қосамыз.

5. Сорғыш құрылғыны орнату:

Шаң сорғыштың ішіндегі негізгі компонент – сорғыш құрылғысы. Кішкентай электр сорғыш немесе желдеткіш орнатып, оны реле арқылы Arduino-ға қосыңыз. Реле Arduino-ның сигналын қабылдап, сорғышты қосып-өшіруге мүмкіндік береді.

6. Жүйені бағдарламалау:

Arduino-ға қажетті бағдарламалық кодты жүктеу арқылы ультрадыбыстық датчиктің көмегімен кедергілерді анықтап, моторлар арқылы шаңсорғыштың қозғалысын реттейміз. Сонымен қатар, сорғыш құрылғыны автоматты түрде іске қосып, бөлмені тазарту процесін бастаймыз.

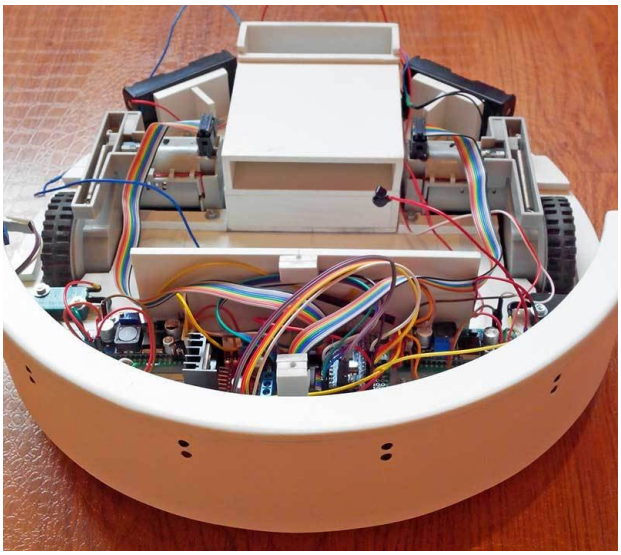
7. Тестілеу және оңтайландыру:

Барлық бөліктерді қосып, жүйені тестілеу керек. Ультрадыбыстық датчик дұрыс қашықтықты өлшейді ме, моторлар дұрыс жұмыс істей ме, сорғыш тиімді жұмыс істей ме – осының барлығын тексеру қажет. Қажет болған жағдайда, бағдарламалық қамтамасыз етуге және аппараттық бөлшектерге өзгерістер енгізу керек.

8. Қорытынды құрастыру:

Барлық компоненттерді шаңсорғыштың шассиіне дұрыс орналастырып, құрылғының сыртқы корпусын жинаймыз. Құрылғының эстетикасын және функциялылығын сақтап, шаңсорғыштың прототипін толық аяқтаймыз.

Бұл қадамдар арқылы қарапайым әрі тиімді ақылды шаңсорғыш жасауға болады, ол кедергілерді анықтап, автономды түрде бөлмені тазалайды.



2-сурет. Датчиктер және ардуино арқылы жұмыс жасайтын ақылды робот шаң сорғыштар

Ақылды шаңсорғыштардың артықшылықтары және интеллектуалды жүйенің рөліне тоқталсақ ақылды шаңсорғыштар – қазіргі заманғы технологиялардың тұрмыстық техникаға әкелген үлкен жаңалығы. Олардың басты артықшылығы – үй тазалаудағы автоматтандыруды қамтамасыз ету, осылайша адамдардың уақытын үнемдеп, олардың тұрмыстық жүктемесін азайту. Интеллектуалды жүйелер осы шаңсорғыштардың басты компоненті болып табылады және олардың тиімді жұмыс істеуінде маңызды рөл атқарады.

Интеллектуалды жүйелердің мүмкіндіктері интеллектуалды жүйе робот-шаңсорғыштың қозғалысын және жұмысын оңтайландырып, әр түрлі тазалау режимдерін таңдауға мүмкіндік береді. Мысалы, құрылғы үйдің планын картаға түсіру арқылы белгілі бір бөлмелерді таңдап тазалай алады, немесе толық үйдің тазалығын бір уақытта қамтамасыз ете алады. Шаңсорғыштың ішінде орнатылған сенсорлар айналасындағы кедергілерді анықтап, оларды айналып өту мүмкіндігін береді. Сонымен қатар, лазерлік немесе инфрақызыл датчиктер арқылы құрылғының бөлмелерді картаға түсіруі тазалаудың сапасын жақсартады.

Ақылды шаңсорғыштарда Wi-Fi арқылы қосылып, смартфондар немесе смарт ассистенттер арқылы қашықтан басқару мүмкіндігі бар. Пайдаланушылар құрылғының жұмысын кез келген уақытта бастауға немесе тоқтатуға, тазалау режимдерін өзгертуге, тіпті шаңсорғыштың қай аймақта жұмыс істеп жатқанын қадағалауға мүмкіндік алады. Бұл технологиялардың дамуы шаңсорғыштарды күнделікті қолдануға өте қолайлы етеді.

Ақылды шаңсорғыштардың болашағына тоқталсақ интеллектуалды басқару жүйелері үздіксіз жетілдірілуде. Жасанды интеллект пен машиналық оқыту алгоритмдерін енгізу арқылы робот-шаңсорғыштар үйдегі тазалық жағдайын өздігінен талдай алады. Олар тек тазалау маршрутын ғана емес, сонымен қатар ең ластанған аймақтарды автоматты түрде анықтап, оларды басымдылықпен тазалайтын болады. Бұл шаңсорғыштар болашақта толықтай дербес жұмыс істеп, пайдаланушының қатысуынсыз тазалықты қамтамасыз етуге қабілетті болады.

Ақырында, интеллектуалды басқару жүйелерінің дамуы тұрмыстық техниканың жаңа дәуірін бастайды. Ақылды шаңсорғыштар қазіргі өмірде қажетті құралға айналуда, ал олардың функционалдық мүмкіндіктері күн сайын артып келеді.

Интеллектуалды шаңсорғыштарды пайдаланудың экологиялық және экономикалық тиімділігіне тоқталсақ интеллектуалды шаңсорғыштардың тағы бір маңызды артықшылығы – олардың экологиялық және экономикалық тиімділігі. Технологиялық жетілдірулердің арқасында бұл құрылғылар энергияны аз жұмсай отырып, жоғары өнімділік көрсетеді. Дәстүрлі шаңсорғыштармен салыстырғанда, ақылды шаңсорғыштар энергияны үнемді пайдаланады, себебі олар тазалау процесін тиімді түрде жоспарлайды және қажетсіз әрекеттерді болдырмайды. Мысалы, құрылғы бөлменің лас аймақтарын анықтап, тек сол жерлерде ұзақ жұмыс істейді, бұл жалпы энергия шығынын азайтады.

Сонымен қатар, ақылды шаңсорғыштар уақытты үнемдеумен қатар, ұзақ мерзімді перспективада шығындарды да азайтады. Көптеген модельдер кедергілерді айналып өтуде, кілем немесе қатты еден сияқты әртүрлі жабындарда тиімді жұмыс істейді, бұл олардың ұзақ мерзімді қолданылуын қамтамасыз етеді. Шаңсорғыштың сенсорлық жүйелері шаң жинағышты толғанға дейін пайдаланып, оны автоматты түрде тазалайтындықтан, шаң дорбаларын жиі ауыстыру қажеттілігі болмайды.

Экологиялық тұрғыдан алғанда, бұл құрылғылардың тағы бір маңызды аспектісі – олар қоршаған ортаға зиян келтірмейді. Энергияны үнемді пайдалану және ұзақ уақыт бойы үздіксіз жұмыс істеу қабілеті оларды экологиялық тұрғыдан тиімді етеді, ал бұл қоршаған ортаға және пайдаланушылардың бюджетіне оң әсерін тигізеді.

Қорытындылай келе, ақылды шаңсорғыштарды пайдалану экологиялық саналы шешім болып табылады, әрі бұл технология алдағы уақытта экологиялық тиімділікті одан әрі арттыра түсетіні сөзсіз.

3. Қауіпсіздік

Интеллектуалды шаңсорғыштарды пайдаланудағы қауіпсіздік мәселелері ақылды шаңсорғыштарды қолдану барысында қауіпсіздік мәселелері де маңызды рөл атқарады. Бұл құрылғылардың Wi-Fi немесе Bluetooth арқылы интернетке қосылуы оларды сыртқы қолжетімділікте қауіпсіздікке осал етуі мүмкін. Зиянды бағдарламалар немесе хакерлер шаңсорғыштың жүйесіне қол жеткізіп, пайдаланушының үйі туралы мәліметтерге ие болуы ықтимал. Сондықтан, ақылды шаңсорғыштарды пайдаланушыларға құрылғыны қорғау үшін қауіпсіздік шараларын сақтау маңызды.

Ең алдымен, құрылғыға тұрақты түрде бағдарламалық жаңартуларды орнату керек. Көптеген өндірушілер жаңа қауіптерден қорғау үшін құрылғының бағдарламалық жасақтамасын үнемі жаңартып отырады. Сондай-ақ, шаңсорғыштың Wi-Fi қосылымына қауіпсіздік протоколдарын (мысалы, WPA2) қолдану және күшті, күрделі құпиясөздер орнату қажет.

Ақылды шаңсорғыштарда жеке мәліметтер сақталмайтындықтан, құпия ақпаратты жоғалту қаупі төмен болғанымен, үйдің картасы немесе қозғалыс тарихы сияқты мәліметтерді қорғау маңызды. Бұл ақпаратты қорғау арқылы пайдаланушылар жеке өмір қауіпсіздігін қамтамасыз ете алады.

Айта кететін болсам, ақылды шаңсорғыштардың тиімділігін пайдалану кезінде олардың қауіпсіздігіне де назар аудару қажет. Құрылғыларды қорғау шараларын дұрыс орындау арқылы пайдаланушылар заманауи технологиялардың артықшылықтарын толықтай пайдалана алады.

Қорытынды

Интеллектуалды жүйелер мен жасанды интеллект арқылы басқарылатын ақылды шаң сорғыштар қазіргі уақытта үй шаруашылығын жеңілдетудің тиімді жолдарының бірі. Олар үйді өздігінен тазалап, пайдаланушыға көп уақыт пен энергия үнемдеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, болашақта мұндай құрылғылардың мүмкіндіктері кеңейіп, ақылды үйлердің ажырамас бөлігіне айналуы ықтимал. Ақылды шаң сорғыштарды дамыту мен қолдану үй жұмыстарының автоматтандыруына үлкен серпін береді, бұл заманауи технологияның артықшылықтарын көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Jones, A., & Smith, B. "Smart Vacuum Cleaners: The Role of Artificial Intelligence in Household Automation" // IEEE Transactions on Consumer Electronics. – 2019. – Vol. 65, №2. – P. 320-328.
2. Kim, S. W., & Park, J. Y. "Autonomous Control Systems for Smart Home Devices" // Journal of AI and Robotics. – 2020. – Vol. 43, №3. – P. 254-263.
3. Wang, H., & Xu, Z. "Integration of IoT and AI in Robotic Vacuum Cleaners" // International Journal of Advanced Intelligence Systems. – 2018. – Vol. 12, №4. – P. 432-445.
4. Brown, L. "Optimization of Smart Vacuum Cleaners with Intelligent Path Planning" // Journal of Robotics and Autonomous Systems. – 2021. – Vol. 58, №6. – P. 675-684.
5. Zhang, X., & Li, Y. "Machine Learning Algorithms for Smart Cleaning Devices" // Journal of AI Research in Home Automation. – 2017. – Vol. 25, №1. – P. 210-222.
6. O'Reilly, T., & Quinn, M. "Smart Homes and IoT: Managing Household Devices with AI" // Smart Systems and Devices Journal. – 2020. – Vol. 48, №5. – P. 189-196.
7. Patel, R., & Lee, J. "AI-Driven Robotics in Modern Homes: Case Study of Smart Vacuums" // International Journal of Automation and Smart Technology. – 2019. – Vol. 38, №7. – P. 98-107.

8. Johnson, P., & Garcia, L. "Sensors and AI in Domestic Robotics" // Advances in Home Automation. – 2018. – Vol. 32, №9. – P. 225-235.

9. Kaur, S., & Verma, D. "Intelligent Systems for Home Cleaning: A Study of Robotic Vacuum Cleaners" // Journal of Consumer Electronics and Automation. – 2021. – Vol. 40, №4. – P. 342-350.

10. Liu, Y., & Chen, M. "AI-Enhanced Vacuum Cleaners: Integration with Smart Home Ecosystems" // International Journal of AI in Robotics. – 2019. – Vol. 47, №3. – P. 401-410.

11. Roberts, K., & Evans, N. "Artificial Intelligence in Smart Vacuum Cleaners: Pathfinding and Obstacle Avoidance" // Journal of Robotics Research. – 2020. – Vol. 51, №2. – P. 78-86.

12. Thomas, E., & Baker, J. "AI and Machine Learning in Household Devices: Focus on Smart Vacuum Systems" // Journal of Intelligent Systems and Applications. – 2018. – Vol. 27, №5. – P. 294-305.

13. Singh, A., & Gupta, P. "Smart Vacuum Cleaners and the Future of Home Automation" // IEEE Smart Systems and AI in Homes. – 2019. – Vol. 55, №3. – P. 512-521.

14. Niu, X., & Zhao, R. "Deep Learning Approaches for Smart Vacuum Cleaners" // Advances in AI and Home Robotics. – 2020. – Vol. 63, №6. – P. 185-192.

15. Martin, R. "IoT and AI Integration in Robotic Cleaning Devices" // Journal of Smart Home Technologies. – 2021. – Vol. 60, №8. – P. 345-353.

Асет Асхат – магистр, аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті;
050000, Алматы; e-mail: aset.asxat@mail.ru

Гилымов Айдынбек Куралбекұлы – студент. әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті;
050000, Алматы; e-mail: gilymov04@bk.ru

МЕДИЦИНАЛЫҚ-БИОЛОГИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

А. Сламғазы[1], Г.А. Тюлепбердинова[1], М.М. Кунелбаев[2], Г.А. Амирханова[1]
[1]*әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан*
[2]*Ақпараттық-Есептеу Технологиялары институты, Алматы, Қазақстан*

Бұл жұмыс медициналық-биологиялық мәселелерді математикалық модельдеуді күрделі физиологиялық процестер мен патологияларды зерттеудің заманауи тәсілі ретінде қарастырады. Адам ағзасының жұмыс істеу механизмдерін тереңірек түсінуге, сондай-ақ әртүрлі медициналық араласуларға реакцияларды болжауға мүмкіндік беретін математикалық модельдерді жасау үшін қолданылатын негізгі бағыттар мен әдістер талқыланады. Биология, медицина және математика сияқты ғылымның әртүрлі салаларындағы білімді біріктірудің маңыздылығына баса назар аударылады, бұл күрделі биологиялық жүйелерді дәлірек сипаттауға және талдауға ықпал етеді. Жұмыста органдар мен жүйелердің функционалдық өзгерістеріне, аурулардың дамуына, сондай-ақ диагностика мен емдеудің жаңа әдістерін әзірлеу процесіне байланысты тапсырмаларда сандық модельдеуді сәтті қолдану мысалдары келтірілген. Есептеу технологиясы мен бағдарламалық жасақтаманың дамуы ғылыми зерттеулерге жаңа көкжиектер ашады, бұл процестерді жасушалық және орган деңгейінде модельдеуге мүмкіндік береді. Математикалық модельдеу саласындағы одан әрі зерттеулер медициналық қызметтердің тиімділігін едәуір арттыруға, пациенттердің өмір сүру сапасын жақсартуға және белсенді ұзақ өмір сүруге ықпал етуге қабілетті екендігі атап өтілді.

Кілттік сөздер: *математикалық модельдеу, медицина, Навье - Стокс теңдеулері, термомеханикалық модель.*

Кіріспе

Қоғамның қазіргі даму тенденциялары адамның денсаулығын сақтау және өмір сүру мәселелері, негізгі өндірістік күш ретінде, кең гуманитарлық мәселелерге жол беруде. Олардың аясында өмір сүру сапасын едәуір жақсарту, белсенді ұзақ өмір сүру жолдарын іздеу және адамның физикалық және рухани өзін-өзі тануға деген ұмтылысымен тығыз байланысты жеке бақыт деңгейін арттыру міндеттері басты орын алады. Дененің әртүрлі мүшелері мен бөліктерінің — терінің, сүйектердің, бұлшықеттердің, бастың және басқалардың математикалық модельдері деформацияланатын механикалық модельдерге негізделген. Навье-Стокс теңдеулеріне негізделген гидродинамикалық тәсілдер гемодинамикаға, тыныс алу және ас қорыту жүйесінің жұмысына байланысты мәселелерде қолданылады. Реакция-диффузия және жылу өткізгіштік теңдеулеріне негізделген тәсілдер тромбозды, асқазанның, терінің жұмысын модельдеу және термиялық немесе химиялық әдістермен ауруларды емдеу үшін кеңінен қолданылады. Қарапайым дифференциалдық теңдеулердің динамикалық жүйелері қан айналымы, жүйке импульстарының берілуі, жасушалық өзара әрекеттесу және гендік желілердің жұмысының негізінде жатыр. Медициналық-биологиялық процестердің барлық мүмкін аспектілерін және олардың өзара байланысын ескеретін гибридті модельдер сұранысқа ие бола бастады. Қарастырылып отырған міндеттердің ауқымы соншалықты кең, барлық қолданыстағы зерттеулерге толық шолу жасау қиын ғана емес, іс жүзінде мүмкін емес міндет болып табылады. Алайда, [1] жалпы орта механикасы мен сандық әдістердің кеңінен танымал модельдеріне негізделген әртүрлі медициналық-биологиялық процестердің математикалық модельдеріне қысқаша, бірақ мазмұнды шолу жасайды. Бірқатар нақты мәселелердің медициналық-биологиялық және математикалық аспектілерін тереңірек талдау монографияларда келтірілген [2-18]. Бұл шолу қазіргі уақытта осы мәселелерін шешу үшін қолданылатын тән сандық модельдерді қарастырады.

1. Тапсырма қою

Тері-адам ағзасының ең үлкен мүшесі, оның қасиеттері адамның бойына, жынысына, жасына және өмір салтына байланысты. Ересек адамда терінің ауданы шамамен 2 м2 құрайды, ал оның салмағы жалпы дене салмағының шамамен 6-8% құрайды. Жалпы, тері үш қабаттан тұрады: эпидермис, дерма және тері астындағы май [12]. Эпидермис, ең сыртқы қабат, қорғаныс қызметін атқарады және қан тамырлары жоқ. Қалыңдығы 0.03-тен 1 мм-ге дейін өзгеретін бұл қабат регенерация қабілетіне ие. Жүктемесі жоғары жерлерде (мысалы, алақандар мен өкшелерде) эпидермис бес қабаттан тұрады. Оның төменгі қабатында жаңа жасушалар пайда болады. Эпидермистің астындағы Дерма екі қабаттан тұрады және қалыңдығы 0,5-тен 5 мм-ге дейін.дермисте терінің серпімділігі мен беріктігін қамтамасыз ететін коллаген және эластин талшықтары, сондай-ақ қан тамырлары, жүйке ұштары, май және тер бездері бар. Бұл сипаттамадан тері көптеген өмірлік функцияларды орындайтын көп қабатты құрылымы бар күрделі орган екені белгілі болады және қалыпты жағдайда да, әртүрлі патологиялық процестерді зерттеуде де математикалық модельдеуге арналған күрделі объект болып табылады.

Механикалық модельдер. Терінің күйіндегі көптеген патологиялық және косметикалық өзгерістерді оның механикалық қасиеттерін қолдана отырып сипаттауға болады. Негізгі қиындық-терінің мінез-құлқын жеткілікті түрде көрсететін анықтаушы қатынасты құру, бұл өте сызықты емес вискоэластикалық композиттік анизотропты материал. Мұндай модельдерді әзірлеудің практикалық міндеті, атап айтқанда, хирургтардың жұмысын жақсарту және эстетикалық және реконструктивті хирургиядағы операциядан кейінгі асқынуларды азайту болып табылады. Осы модельдердің егжей-тегжейлі шолулары мен зерттеу нәтижелерін жұмыстардан табуға болады [3-14].

Бірнеше мысал келтірейік. Салыстырмалы түрде қарапайым математикалық теңдеулерді қолданатын модельдерді механикалық есептердің шектеулі ауқымын шешу үшін тиімді қолдануға болады. Дегенмен, олардың кейбіреулері адам терісінің сызықтық емес және анизотропты қасиеттерін сипаттауға мүмкіндік береді. Мысалы, жұмыстағы модель [15] теріні серпімді мембрана ретінде ұсынады, бұл кішігірім деформацияларды сипаттауға қолданылуы мүмкін.

$$\tau^{\alpha\beta}=\frac{\partial w}{\partial \gamma\alpha\beta},$$

мұндағы T және γ — кернеу мен деформация тензорлары, W - коэффициентпен анықталған серпімді де-формация энергиясының функциясы

$$W = A^{\alpha\beta\lambda\mu}\gamma\alpha\beta\gamma\lambda\mu\ ^{\exp}\left(B^{k\delta}\gamma k\delta + C\gamma^{\rho\varphi}\gamma\rho\varphi\right).$$

Салыстырмалы түрде үлкен деформациялар жағдайында былғары күй теңдеуі бар тұтқыр серпімді орта ретінде модельденеді

$$\tau^{\alpha\beta} = A^{\alpha\beta\lambda\mu}\gamma\lambda\mu\ ^{\exp}\left(B^{k\delta}\gamma k\delta + C\gamma^{\rho\varphi}\gamma\rho\varphi\right).$$

Мұнда с-скаляр, А және В — эксперименталды түрде анықталуы керек материалдық тұрақтылар .

Терінің анағұрлым шынайы сипаттамасын қоян терісінде жасалған зертханалық эксперименттердің кең деректер жиынтығын жалпылау нәтижесінде алынған жұмыс моделі [16] береді. Бұл модельде кернеу тензорын анықтау кезінде келесі жуықтау қолданылады:

$$W=\frac{1}{2}\left(\alpha_1\gamma_{11^2}+\alpha_2\gamma_{22^2}+\alpha_3\gamma_{12^2}+2\alpha_4\gamma_{11}\gamma_{22}\right)+$$

$$+\frac{1}{2}\mathrm{ce}\,xp\left(\alpha_1\gamma_{11^2}+\alpha_2\gamma_{22^2}+\alpha_3\gamma_{12^2}+2\alpha_4\gamma_{11}\gamma_{22}+\beta_1\gamma_{11^3}+\beta_2\gamma_{22^3}+\beta_4\gamma_{11^2}\gamma_{22}+\beta_5\gamma_{11}\gamma^{2_{22}}\right).$$

Мұндай модельдерді сәтті қолдану үшін оларды адам терісінің созылу сызықтарының симметриясымен үйлестіру керек екенін ескеру маңызды. Іс жүзінде бұл Лангер сызықтарына сәйкес келетін координаттар жүйесін таңдауды білдіреді — тері созылуға ең сезімтал сызықтар. Алайда, Лангер сызықтары бойындағы симметрия туралы болжам нақты жағдайларда әрдайым дұрыс бола бермейтінін ескеру қажет.

Терінің кернеуі мен деформациясын оның микроқұрылымымен байланыстыратын модельдер жұмыста ұсынылған [17, 18]. Бұл зерттеулерде негізгі тәсіл-егер терідегі коллаген мен эластин талшықтарының құрылымы мен механикалық өзара әрекеттесуі белгілі болса, оның жалпы механикалық реакциясын да бағалауға болады. [18] күй теңдеуі теріні сызықтық емес қасиеттері бар ортотропты гипер серпімді материал ретінде сипаттайтын модельді ұсынады. Сызықтық емес коллаген талшықтарының ұзын молекулалық тізбектерінің созылуымен түсіндіріледі. Сандық модельдеу ақырлы элементтер әдісін қолдана отырып жүргізілді және нәтижелер эксперименттік мәліметтер бар жағдайларда тексерілді.

Термомеханикалық өндіріс. Заманауи зерттеулердің негізгі бағыттарының бірі терінің термомеханикалық қасиеттері мен функцияларын модельдеу болып табылады. Тері тіндерінің жеңілдетілген модельдерінде термиялық және механикалық процестер көбінесе бөлек қарастырылады: алдымен тері тініндегі температураның таралуы есептеледі, содан кейін ол механикалық модельге кіріс ретінде пайдаланылады. Мұндай тапсырмаларда, егер имитацияланған процестердің физикалық мәнін көрсетуге басымдық берілсе, терінің көп қабатты құрылымы ескерілмеуі мүмкін.

Алайда, неғұрлым егжей — тегжейлі модельдеу әдетте эпидермис — дерма, эпидермис — дерма-тері астындағы май немесе эпителий, ұрық қабаты және басқа компоненттерді қамтитын күрделі конфигурацияларды қарастырады. Әр қабат үшін жылу өткізгіштік коэффициенті, тұтқырлық, тығыздық, Юнг модулі және басқалары сияқты жеке параметрлер қолданылады, олардың мәні зертханалық тәжірибелер негізінде анықталады.

Тірі организмдердегі, соның ішінде тері тіндеріндегі жылу тасымалдау процестерін модельдеу классикалық Фурье заңына сүйенеді және биоөткізгіштік теңдеулері ретінде тұжырымдалады.

$$\mathrm{pc}\frac{\partial T}{\partial t}+\nabla\left(-\kappa\,\Delta\mathrm{T}\right)=\omega_b\rho_b c_b\left(T_b-T\right)+Q,$$

мұндағы p, C, T — тығыздығы , меншікті жылу сыйымдылығы және матаның жергілікті температурасы; WB, pb, cb, Tb — перфузия жылдамдығы, тығыздығы, меншікті жылу сыйымдылығы және сәйкесінше қан температурасы.

Теңдеудің оң жағындағы терминдер қанның температурасына байланысты тіндердегі температураның теңестірілуін, сондай-ақ сыртқы және ішкі көздер арқылы температураның өзгеруін сипаттайды. Сыртқы көздерге, мысалы, жылуға айналатын және температураның жоғарылауына ықпал ететін электромагниттік сәулеленудің сіңірілген энергиясы кіруі мүмкін. Ішкі көздер метаболизммен байланысты-ағзаны тіршілік үшін қажетті энергиямен қамтамасыз ететін химиялық процестер. Бұл теңдеу тірі организмдердегі жылудың таралуын модельдеу үшін қолданылатын теңдеулер класының негізгі өкілі болып табылады. Бұл ретте қан температурасы

мен метаболизм жылдамдығының тұрақтылығы, сондай-ақ метаболизм процестерінің температураға тәуелділігінің болмауы туралы жеңілдетілген болжамдарға жол беріледі.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Адам денесінің сегменттерінің модельдері. Бүгінгі таңда математикалық модельдеудің осы саласының қарқынды дамуы медицина мен биомеханика мәселелерімен ғана емес, сонымен қатар іс - әрекеттің практикалық салаларында — адам экологиясы, еңбекті қорғау, криминалистикаға деген сұраныспен де байланысты . Тапсырмалар ауқымы өте кең — аяқ - қолдар мен олардың протездерінің қозғалысын, буындар мен бұлшықеттердің жұмысын (мысалы, жүрек бұлшықеті) модельдеуден бастап, ми жарақаттарының салдарын зерттеуге дейін . Бұл жұмыста авторлардың пікірінше, зерттеудің уақытша жағдайын жеткілікті түрде сипаттайтын екі ғана міндеттер қарастырылған.

Дененің нақты модельдері. Мұндай модельдер алдыңғы бөлімде қарастырылған өндірістердің логикалық жалғасы болып табылады және есептеу ресурстарының қазіргі даму деңгейіне толық сәйкес келеді . Бұл қанның перфузиясы мен метаболизм арқылы жылу ағынын ескере отырып, адам терісі мен тері астындағы тіндердегі температураның таралуын толық сипаттай отырып, адам ағзасындағы жылу процестерін зерттеу үшін бір, екі және әсіресе үш өлшемді нақты математикалық модельдерді құру туралы . Модельдерді құру кезінде биофизикалық параметрлердің гетерогенді өзгерістері және адам денесінің ішкі қабаттарының тұрақты емес сипаты ескерілуі керек.

Бас миының жарақаттары. Бас сүйек сүйектері мен ми тіндерінің механикалық зақымдануы осы саладағы ең танымал сандық модельдеу пәндерінің бірі болып табылады . Мұндай зерттеулер қызметтің практикалық салаларына белсенді түрде енгізіліп, нормаға айналды, атап айтқанда автомобиль өнеркәсібінде, олар модельдерді жарақат салдарын болжау құралдарына айналдырып, қауіпсіздік критерийлерін анықтау және оңтайландыру үшін тартылады. Бағдарламалардың өнеркәсіптік пакеттерінде, әдетте, Деформацияланатын қатты механиканың белгілі математикалық модельдері қолданылады, ақырлы элементтер әдісінде есептеулердің жеткілікті жоғары дәлдігін қамтамасыз ететін оптимальды есептеу торларын құруға көп көңіл бөлінеді.

Жүйке жүйесі екі негізгі бөліктен тұрады: ми мен жұлынды қамтитын орталық жүйке жүйесі (ОЖЖ) және жүйке түйіндерінен, плексустардан, сондай-ақ ОЖЖ-ны дененің әртүрлі бөліктерімен байланыстыратын бас миы мен жұлын нервтерінен тұратын перифериялық жүйке жүйесі (ПНС). Бүкіл денеге таралған сезім мүшелері мен рецепторлардан алынған барлық сенсорлық ақпарат мидың арнайы сенсорлық аймақтарына түседі. Сигналдардың немесе жүйке импульстарының берілуі нейрондарда болатын электр зарядтарының көмегімен жүреді. Бұл импульстардың ми арқылы өту жылдамдығы секундына 50 миллионға дейін жүйке сигналдарын өңдейтін 400 км / сағ жетуі мүмкін.

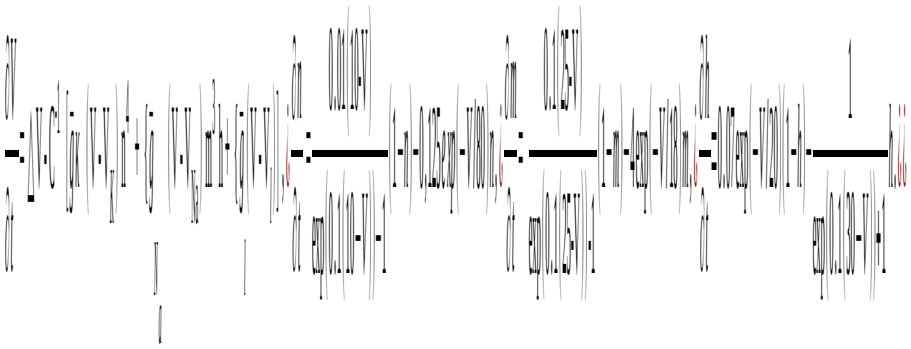
Бұл саладағы зерттеулердің көпшілігі жүйке импульстарының берілу процестерін зерттеуге арналған. Бұл жағдайда жасушаның ішкі және сыртқы ортасы арасындағы электрлік потенциалдар айырмашылығын тудыратын оқшаулау қасиеттері бар Нейрон мембранасы маңызды рөл атқарады. Модель *и* мембраналық потенциалының ең үлкен поляризация деңгейінен оң ауытқу шамасының өзгеруін сипаттайтын сызықтық емес қарапайым кеш Дифференциалдық теңдеу түрінде тұжырымдалған:

$$\frac{d\upsilon}{dt} = \lambda \left[-1 - R_1 \exp\left(-\upsilon^2\right) + R_2 \exp\left(-\upsilon^2(t-1)\right)\right]\upsilon,$$

теңдеудің оң жағы натрий мен калий өткізгіштік процесін көрсететін жерде λ-мембрана потенциалының қалпына келу жылдамдығын сипаттайтын адгезияның төмендеу

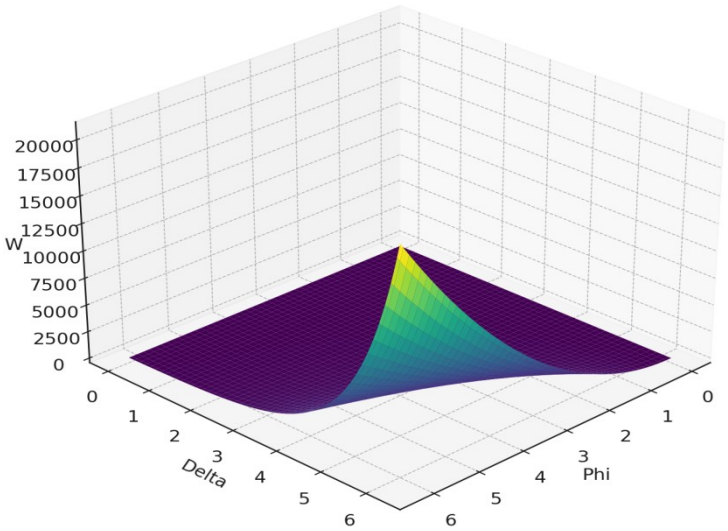
аймағындағы экспоненттік көрсеткіш. Белгісіз коэффициенттердің мәндері асимптотикалық талдаудан анықталады. Нәтижесінде оқшауланған адгезияның пішіні мен мембрана потенциалының баяу өсу учаскесі туралы биологиялық деректерді жеткілікті түрде көбейтетін, сондай — ақ биологиялық кезеңнің асимптотикалық бағалауларына сәйкес келетін параметрлердің берілген мәндері бойынша мерзімді шешім алынды-уақыт бойынша көршілес шешім максимумдары арасындағы интервал.

Ходжкин — Хакслидің жүйке талшықтарындағы жүйке импульсін генерациялаудың классикалық моделі кальмардың алып аксонында қозудың таралуын модельдеу үшін ұсынылған. Ол нейрондық мембранадағы натрий арналарын белсендіру және инактивациялау процестерін, мембраналық потенциалдың шамасына байланысты калий арналарының өткізгіштігін сипаттайтын, сондай-ақ мембраналық потенциал мен калий - натрий арналарының ағымдағы күйінің байланысын орнататын төрт сызықты емес ОДА-ны қамтиды. Модель теңдеулерінің біріншісі-Кирхгоф Заңы, қалғандары эксперименттік деректерді ескере отырып, жалпы физикалық себептермен құрылады:



3. Сандық есептеулер

A,B,C және басқалары параметрлері графиктің пішініне айтарлықтай әсер етуі мүмкін. B параметрінің жоғарылауы δ және ϕ мәндерінің белгілі бір диапазонында функцияның өсуін күшейтуі мүмкін. Егер шыңдар байқалса, бұл осы аймақтарда W ϕ және δ мәндерінің үйлесуіне байланысты максимумға жететінін көрсетуі мүмкін. Егер W мәндері осы айнымалылардың жоғарылауымен немесе төмендеуімен айтарлықтай төмендесе, бұл модель сипаттайтын процестерді талдау кезінде де ескерген жөн.



1-сурет. Терінің серпімді деформациясының энергия функциясы вискоэластикалық орта ретінде модельденеді

1-суреттен көріп отырғанымыздай, W мәні ϕ және δ өзгеруімен өзгереді. Бұл осы айнымалылар арасында қандай да бір байланыс бар екенін көрсетеді. Формулада экспоненциалды функция болғандықтан, айнымалылардың мәндеріне байланысты W өте тез өседі (немесе азаяды) деп күтуге болады. Бұл диаграммада тән "шыңдарды" немесе "шұңқырларды" жасайды.

4. Қорытынды

Дені сау организм үшін де, пациенттің патологиялық жағдайлары үшін де физиологиялық процестердің математикалық модельдерін жасау математикалық модельдеудің ең белсенді дамып келе жатқан салаларының бірі болып табылады. Модельдеу әртүрлі биомедициналық мәселелерді зерттеуде жоғары тиімділігі мен қол жетімділігін дәлелдеді. Әдебиеттерді талдау физикалық және математикалық модельдердің күрделенуі есептеу қуатының өсуімен және биологиялық процестерді түсінудің жаңа деңгейлеріне қол жеткізуге мүмкіндік беретін медициналық құралдар мен диагностикадағы революциямен тікелей байланысты екенін көрсетеді. Халықаралық зерттеулерде коммерциялық және ашық бағдарламалық құралдарды пайдалана отырып, жетекші медициналық зертханалардың тапсырысы бойынша орындалатын жобаларға көп көңіл бөлінеді. Отандық ғылыми ұжымдарда дәрігерлер мен сандық модельдеу мамандары арасындағы байланыс белсенді дамып келеді, бұл осы саланың дамуына ықпал етеді. Сонымен қатар, көптеген зерттеулер болашақта медициналық тәжірибеде есептеу технологиясының басымдылығын қамтамасыз ете алатын, денсаулықты жақсартатын және белсенді ұзақ өмір сүруді ұзартатын іргелі ғылыми мәселелерге бағытталған.

Алғыс

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің №AP23488439 (2024-2026) гранты есебінен қаржыландырылды.

Әдебиеттер тізімі

1. A.C. Guyton, J.E. Hall - "Textbook of Medical Physiology" (11th Edition), Saunders, 2006.
2. Murray JD - "Mathematical Biology: I. An Introduction" (3rd Edition), Springer, 2002.
3. Enderle JD, Blanchard SM, Bronzino JD - "Introduction to Biomedical Engineering" (3rd Edition), Academic Press, 2011.
4. Fung YC - "Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues" (2nd Edition), Springer, 1993.
5. Keener J, Sneyd J - "Mathematical Physiology" (2nd Edition), Springer, 2008.
6. Humphrey JD, Delange SL - "An Introduction to Biomechanics: Solids and Fluids, Analysis and Design" (2nd Edition), Springer, 2015..
7. Holmes MH - "Introduction to the Foundations of Applied Mathematics," Springer, 2009.
8. McCulloch AD, Huber G - "Mathematical Modeling of Human Physiological Systems," SIAM, 2004.
9. Gerald F. Pinder, William G. Gray - "Essentials of Multiphase Flow and Transport in Porous Media," Wiley, 2008.
10. Zienkiewicz OC, Taylor RL, Zhu JZ - "The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals" (7th Edition), Elsevier, 2013.
11. Hall JE - "Guyton and Hall Textbook of Medical Physiology" (13th Edition), Elsevier, 2016.
12. Lodish H, Berk A, Kaiser CA, et al. - "Molecular Cell Biology" (8th Edition), W. H. Freeman, 2016.

13. LeVeque RJ - "Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems," Cambridge University Press, 2002.

14. Ameisen JC - "The Biology of Death: Origins of Mortality," Cornell University Press, 1999.

15. Fung YC - "Biomechanics: Mechanical Properties of Living Tissues" (2nd Edition), Springer, 1993.

16. Truskey GA, Yuan F, Katz DF - "Transport Phenomena in Biological Systems" (2nd Edition), Pearson, 2009.

17. Smith NP, Pullan AJ, Hunter PJ - "An Anatomically Based Model of Myocardial Electrical Activity: A Biophysically-Based Computational Model of the Heart," Progress in Biophysics and Molecular Biology, 2001.

18. Fundamental Medical and Engineering Investigations on Protective Artificial Respiration: A Collection of Papers from the DFG funded Research Program PAR (Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design. Vol. 116) / Eds. M. Klaas, E. Koch, W. Schr¨o- der. Springer-Verlag, 2011. 186 p.

Сламғазы Айсымбат - Бизнес талдау мен Big Data мамандығының магистранты, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, e-mail: aysembat2023@gmail;

Тюлепбердинова Гульнур Алпыскызы – ф.-м.ғ.к., ассоциированный профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің доценті;

Кунелбаев Мурат Меркебекович – магистр, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің аға оқытушысы, Ақпараттық - есептеу технологиялары институтының ғылыми қызметкері;

Амирханова Гульшат Амандоловна – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің аға оқытушысы

УНИВЕРСИТЕТ ОҚЫТУШЫЛАРЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ БЕЛСЕНДІЛІГІН БАҚЫЛАУ БОЙЫНША ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЖҮЙЕНІ МОДЕЛЬДЕУ

Б.Х. Аллажар, Н. Тасболатұлы
Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан
E-mail: allazhar.working@gmail.com, nurbolat.tasbolatuly@aiu.edu.kz

***Аннотация**. Мақала университет оқытушыларының ғылыми белсенділігін бақылау бойынша интеграцияланған жүйені әзірлеуге арналған, ол ғылыми ресурстарды басқару тиімділігін арттыруға және білім беру мекемелерінің беделін нығайтуға бағытталған. Жүйе ғылыми жетістіктерді автоматты түрде талдау үшін Scopus және Web of Science деректер базасымен біріктірілген. Маңызды компоненттердің бірі – жасанды интеллект әдістерін қолдану, ол ғылыми белсенділікті болжауға, ғылыми кадрларды дамыту стратегияларын құруға және олардың халықаралық беделін арттыруға көмектеседі. Зерттеу нәтижелері жүйенің ашықтықты арттыруға, оқытушыларды ынталандыруға және университеттердің бәсекеге қабілеттілігі үшін маңызды негізгі метрикаларды тиімді бақылауға ықпал ететінін көрсетеді.*

***Түйін сөздер:** Scopus және Web of Science, ғылыми белсенділік, университет оқытушылары, интеграцияланған жүйе, жасанды интеллект, машиналық оқыту.*

Кіріспе. Университеттердегі оқытушылардың ғылыми белсенділігін бақылау бойынша интеграцияланған жүйе ресурстарды басқаруды оңтайландыру, тиімділікті арттыру және ғылыми жетістіктердің көрінуі арқылы мекеменің беделін жақсарту үшін қажет. Бұл жүйе академиялық ашықтықты қамтамасыз етіп, оқытушылар мен әкімшілік арасындағы сенімді нығайта отырып, жұмыс сапасын талдауға мүмкіндік береді, сондай-ақ қызметкерлердің оқыту және даму қажеттіліктерін анықтауға көмектеседі. Қазіргі уақытта бұл жүйе дәйексөз алу коэффициентін бақылау үшін өте маңызды, өйткені ол қазақстандық университеттердің Times Higher Education және QS сияқты халықаралық рейтингтерге кіруі үшін қажет. Жүйе ғылыми белсенділікті ынталандырып, мотивациялық механизмдерді енгізеді және пәнаралық ынтымақтастық үшін жағдай жасайды. Қазіргі уақытта ғылыми орта тез өзгеретіндіктен, мұндай жүйе университеттердің жаңа жағдайларға жылдам бейімделуіне және инновациялық жобаларды дамытуына мүмкіндік береді, бұл ақыр соңында тұрақты дамуға және бәсекеге қабілеттілікке ықпал етеді.

Осы жұмыс аясында ғылыми белсенділік туралы мәліметтерді жинау үшін әртүрлі құралдар, оның ішінде тиімділіктің негізгі көрсеткіштері (KPI), science.aiu.kz жүйесі және Scopus пен Web of Science мәліметтер базасымен интеграция әзірленді. Бұл жүйе халықаралық деректер базасына қосылған ғылыми мақалаларды, сондай-ақ қызметкерлердің өзін-өзі дәйексөздеуін ескере отырып, бір қызметкерге келетін дәйексөздер коэффициентін бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жүйе жылдар және кварталдар бойынша, сондай-ақ басқа да маңызды параметрлер бойынша есептер ұсынады.

Жүйенің құрылымы: схема және жұмыс алгоритмі

Университет қызметкерлерінің ғылыми белсенділігін бағалау веб-қосымшасын әзірлеу икемді және масштабталатын архитектураға негізделген, ол пайдаланушылардың жарияланымдары мен түйіндемелерін басқаруға ғана емес, сонымен қатар Scopus және Web of Science (WoS) сияқты сыртқы дереккөздермен интеграциялануға мүмкіндік береді. Бұл жарияланымдарды өңдеу процесін автоматтандыруға және ғылыми белсенділіктің негізгі көрсеткіштерін алуға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, жүйе администраторға

пайдаланушыларды басқаруға және олардың ғылыми белсенділігі туралы есептерді жасауға мүмкіндік береді.

Science.aiu.kz жүйесінің архитектурасы

Қосымша архитектурасы клиент-сервер үлгісіне негізделген, мұнда клиенттік бөлігі Next.js пайдаланып жүзеге асырылса, серверлік бөлігі және деректер қоры MongoDB негізінде құрылған. Клиент пен сервер арасындағы негізгі өзара әрекеттесу REST API арқылы жүзеге асырылады, пайдаланушыларды растау және авторизациялау үшін JSON Web Token (JWT) қолданылады. Сондай-ақ, Scopus және WoS сияқты сыртқы деректер базасының API-мен интеграциялау қарастырылған, бұл қызметкерлердің жарияланымдары туралы мәліметтерді автоматты түрде алуға мүмкіндік береді.

Жүйе екі пайдаланушы типін қолдайды: қарапайым пайдаланушы және администратор. Қарапайым пайдаланушы өз профилі мен жарияланымдарын басқара алады , ал администратор барлық деректерге қол жеткізе отырып, барлық қызметкерлердің ғылыми белсенділігі туралы есептерді жасай алады.

Технологиялық стек: Next.js, MongoDB, JWT (JSON Web Token), bcrypt.js [1-2].

Science.aiu.kz жүйесінің негізгі кезеңдері:

Аутентификация және авторизация процесі пайдаланушының ЖСН және паролін енгізуінен басталады, содан кейін жүйе пайдаланушының келесі сұраулары үшін және оның рөлін растау үшін JWT-токенін генерациялайды. Пайдаланушылар өз профилдерін, атап айтқанда Scopus ID, WoS ID, ORCID сияқты мәліметтерді өңдей алады, сонымен қатар өздерінің ғылыми жарияланымдарына қатысты атауы, авторлары, DOI, жарияланған жылы сияқты ақпараттарды өзгертіп, басқара алады. Жүйе сыртқы дереккөздермен интеграцияланған, сондықтан пайдаланушының профиліне байланысты идентификаторлар негізінде Scopus және Web of Science дерекқорларынан мәліметтерді автоматты түрде алады. Сонымен қатар, жүйе профиль мен жарияланымдар деректері негізінде пайдаланушының түйіндемесін автоматты түрде құрастырады. Администраторлар пайдаланушылар мен олардың жарияланымдарын толықтай басқара алады, сондай-ақ университет қызметкерлерінің ғылыми белсенділігі бойынша есептерді құруға мүмкіндігі б ар.

Компоненттердің өзара әрекеттесу схемасы

Жүйе клиент-сервер моделін REST API арқылы қолданады (1-сурет). Пайдаланушы профильді, жарияланымдарды және түйіндемені басқару үшін серверге сұраулар жіберу арқылы клиенттік қосымшамен әрекеттеседі. Сервер сұрауларды өңдеп, JWT арқылы аутентификация жүргізеді және жарияланымдарды автоматты түрде жаңарту үшін Scopus ж әне WoS деректер базаларымен әрекеттеседі. MongoDB деректер базасы пайдаланушылар, жарияланымдар және түйіндемелер туралы ақпаратты сақтайды.

1-сурет. Компоненттердің өзара әрекеттесу схемасы

Қандай деректер қоры қолданылады және онда ақпарат қалай сақталады?

Университет қызметкерлерінің ғылыми белсенділігін бағалау веб-қосымшасын әзірлеу барысында деректер қоры маңызды рөл атқарады. Бұл жүйеде NoSQL түріндегі MongoDB деректер қоры қолданылады, ол икемділігімен, масштабталу мүмкіндігімен және әртүрлі деректер түрлерімен жұмыс істеу қабілетімен танымал. MongoDB деректерді JSON-ға ұқсас объектілер форматында құжаттар түрінде сақтауға мүмкіндік береді, бұл пайдаланушылардың, жарияланымдардың және түйіндемелердің ақпараттарын сақтау үшін өте ыңғайлы [2].

Неліктен MongoDB таңдалды?

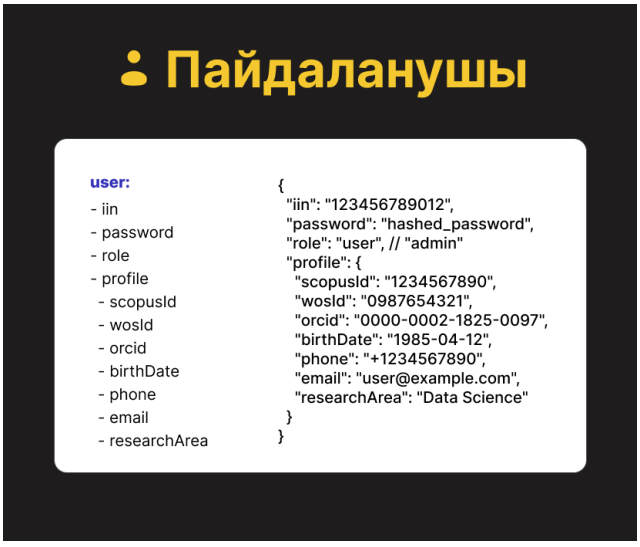
MongoDB үш негізгі себеп бойынша таңдалды. Біріншіден, бұл — икемділік. Реляциялық деректер қорларынан айырмашылығы, MongoDB деректерге қатаң схемалар талап етпейді. Бұл қосымшаның функциялары өзгеріп, өскен сайын деректерді сақтау құрылымын оңай өзгертуге мүмкіндік береді, әсіресе әртүрлі ғылыми жарияланымдар мен пайдаланушылардың профилдерін өңдейтін жүйе үшін бұл маңызды [2-3].

Екіншіден, масштабталу мүмкіндігі. MongoDB шардирование (бөлшектеу) арқылы деректерді бірнеше серверлерге бөлу мүмкіндігін қолдайды, бұл жүйеге деректер көлемі мен жүктеме артқан кезде де жоғары өнімділікті қамтамасыз етеді [3].

Үшіншіден, JSON-пен үйлесімділігі. MongoDB деректерді BSON форматында (JSON-ның бинарлы аналогы) сақтайды, бұл қосымшаның клиенттік бөлігімен жұмыс істеуді жеңіл әрі ыңғайлы етеді, өйткені көптеген веб-қосымшалар деректерді беру үшін JSON пайдаланады [3].

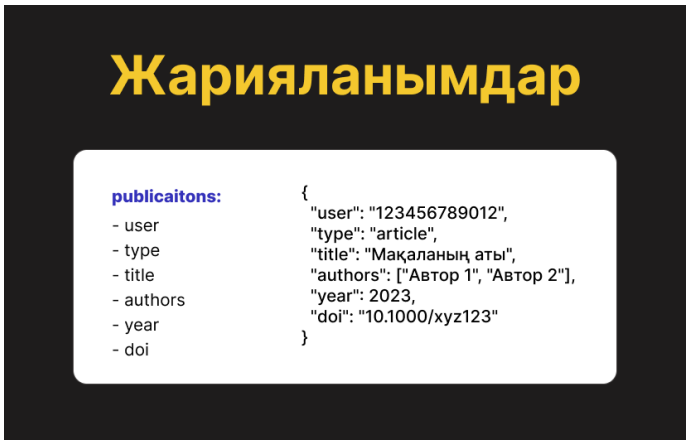
Деректер қорының құрылымы

MongoDB-де деректер реляциялық деректер қорларындағы кестелерге ұқсас коллекциялар түрінде ұйымдастырылады. Әрбір коллекция деректер жазбаларын бейнелейтін JSON-ға ұқсас объектілерден тұрады. Бұл жүйе аясында үш негізгі коллекция қолданылады: Пайдаланушылар коллекциясы (users) ЖСН, шифрланған пароль, пайдаланушының рөлі және профильдік мәліметтерді (Scopus ID, WoS ID, ORCID және т.б.) қамтиды. Users коллекциясының құжат мысалы (2-сурет).



2-сурет. Пайдаланушы коллекциясы

Жарияланымдар коллекциясы (publications) — әрбір жарияланым пайдаланушымен байланыстырылған және келесі мәліметтерді қамтиды: жарияланым түрі, авторлар, жылы және DOI. Publications коллекциясының құжат мысалы (3-сурет).



3-сурет. Жарияланымдар коллекциясы

Деректер қорын оңтайландыру

Өнімділікті жақсарту және масштабталуын қамтамасыз ету үшін жүйе келесі әдістерді қолданады: индекстеу. Маңызды өрістер бойынша, мысалы, `userId`, `doi`, `publicationType`, мәліметтерді іздеуді оңтайландыру үшін индекстер қолданылады. Бұл сұрауларды орындау уақытын қысқартады және жүйенің жалпы өнімділігін арттырады [4]. Шардирование. MongoDB шардирлеуді қолдайды, бұл деректерді әртүрлі серверлер арасында бөлуге мүмкіндік береді. Бұл үлкен көлемдегі деректермен жұмыс жасайтын ірі жобалар үшін өте маңызды. Бұл әдіс жүйеге жарияланымдар мен пайдаланушылар санының өсуіне қарай масштабталуға мүмкіндік береді [5].

Сыртқы деректер базаларымен өзара әрекеттесу (Scopus, WoS)

Жүйе Scopus және Web of Science (WoS) сияқты сыртқы дерекқорлармен интеграцияланған. Бұл интеграциялар пайдаланушылардың жарияланымдары туралы мәліметтерді автоматты түрде жүктеуге мүмкіндік береді, осылайша қолмен деректер енгізуге кететін уақытты үнемдейді. Пайдаланушының Scopus ID немесе WoS ID болған жағдайда, жүйе осы платформалардың API интерфейстеріне сұрау жібереді және пайдаланушымен байланысты жарияланымдар тізімін автоматты түрде жаңартып отырады. Бұл мәліметтерді басқаруды жеңілдетіп қана қоймай, жарияланымдарды қайталау немесе қате енгізу ықтималдығын азайтады [6-7].

Жүйені басқару

Университеттің ғылыми белсенділігін бақылау жүйесін басқару — пайдаланушылар, олардың жарияланымдары тиімді басқаруды қамтамасыз ететін маңызды элемент. Жоғарыда айтылғандай, жүйе рөлдерге негізделген құқықтарды шектеу моделі арқылы жүзеге асырылады: қарапайым пайдаланушылар (users) өздерінің профильдерін және жарияланымдарын өңдей алады, ал администраторлар (admin) барлық деректерді басқарып, есептерді жасай алады. Администратор пайдаланушыларды, олардың профилдерін және жарияланымдарын басқара алады, сонымен қатар жүйеге жаңа пайдаланушыларды қосу, есептік жазбаларды жою немесе профильдерді өңдеу функцияларын жүзеге асырады. Бұл деректердің жүйеде үнемі өзектілігін және дұрыстығын қамтамасыз етеді. Администратор барлық қызметкерлердің жарияланымдарына қол жеткізіп, қажет болған жағдайда оларды өңдей алады және қателіктерді түзете алады, бұл деректер қорының тұтастығын сақтауға және басқаруға мүмкіндік береді. Администратор ғылыми белсенділік туралы есептерді, соның ішінде жарияланымдар саны, библиометриялық көрсеткіштер (h-индекс, сілтемелер саны) бойынша есептерді жасай алады. Бұл есептер қызметкерлердің ғылыми жетістіктерін талдауға және деректерге негізделген шешімдер қабылдауға көмектеседі. Жүйе Scopus және WoS дерекқорларымен автоматты түрде синхрондалады, бұл жарияланымдар туралы

ақпаратты қолмен енгізбестен жаңартуға мүмкіндік береді. Администраторлар интеграция параметрлерін орнатып, мүмкін қателіктер туралы ескертулер ала алады. Сондай-ақ, олар пайдаланушылардың әрекеттер журналына қол жеткізе алады, бұл белсенділікті бақылауға және туындаған мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Жүйе сонымен қатар пайдаланушылардың қолжетімділік құқықтарын басқаруға мүмкіндік береді, бұл деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз етеді.

Жүйені басқару деректерді толық бақылауды қамтамасыз етеді, ақпараттың өзектілігін қолдайды және университет қызметкерлерінің ғылыми белсенділігін стратегиялық жоспарлауға көмектеседі.

Жасанды интеллект арқылы болжау

Бұл жүйенің негізгі артықшылықтарының бірі — жасанды интеллект (ЖИ) әдістерін, атап айтқанда машиналық оқыту (ML) алгоритмдерін пайдалана отырып, қызметкерлердің ғылыми белсенділігін олардың жарияланымдары мен библиометриялық көрсеткіштері (мысалы, h-индекс және сілтемелер саны) негізінде болжау мүмкіндігі. Машиналық оқыту әдістерін ағымдағы мәліметтерді талдау үшін қолдану тек ағымдағы жетістіктерді бақылауға ғана емес, сонымен қатар қызметкерлердің болашақтағы ғылыми белсенділігі туралы болжамдар жасауға мүмкіндік береді, бұл университеттің ғылыми қызметін стратегиялық жоспарлау үшін пайдалы болуы мүмкін [8-9].

Жасанды интеллект әдістерін болжауда қолдану

Бұл жүйеде жасанды интеллект (ЖИ) арқылы болжау әртүрлі машиналық оқыту алгоритмдерін, нақты айтсақ, кездейсоқ ормандар алгоритмін қолдану арқылы жүзеге асырылады. Бұл алгоритм қызметкерлердің жарияланымдары туралы ақпаратты, олардың библиометриялық көрсеткіштерін (сілтеме саны, h-индекс, жарияланымдар саны) талдайды және бұл метрикалардың болашақта қалай өзгеретінін болжайды. Болжаудың негізгі кезеңдері – деректерді жинау, деректерді талдау және қолда бар деректер негізінде болжау. Жүйе қызметкерлердің жарияланымдары мен библиометриялық көрсеткіштері туралы ақпаратты жинайды. Бұл мәліметтер ішкі дерекқорлардан, сондай-ақ Scopus және Web of Science сияқты сыртқы дереккөздерден келуі мүмкін. Деректер жиналғаннан кейін талдау процесі басталады. Бұл үшін кездейсоқ ормандар машиналық оқыту алгоритмі қолданылады. Неліктен дәл кездейсоқ орман алгоритмі? Өйткені, кездейсоқ орман алгоритмі ғылыми белсенділікті болжауға өте қолайлы, себебі ол жарияланымдар саны, сілтеме саны, h-индекс және басқа да библиометриялық көрсеткіштер сияқты көптеген факторлар арасындағы күрделі тәуелділіктерді өңдей алады (1). Кездейсоқ орман әртүрлі деректермен, мысалы, сандық және категориялық айнымалылармен (жарияланым түрі, авторлар саны) жақсы жұмыс істейді және ғылыми өнімділікке әсер ететін паттерндерді тиімді анықтай алады. Ол қайта үйренуге төзімді, бұл оны шулы немесе толық емес мәліметтері бар нақты деректермен жұмыс істеуге сенімді етеді. Сонымен қатар, кездейсоқ орман әртүрлі айнымалылардың маңыздылығын түсіндіру мүмкіндігін ұсынады, бұл ғылыми белсенділікті болжау үшін ең маңызды факторларды, мысалы, h-индекстің өсуі немесе сілтеме санын түсінуге көмектеседі [10-11].

$$a(y) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} c_i(y) \quad (1),$$

мұндағы

a(y) — болжанатын айнымалы, мысалы, h-индекс немесе сілтеме саны,

N — ормандағы ағаштар саны,

$c_i(y)$ — **i**-ші ағаштың **y** кіріс деректері үшін болжамы,

X — ғылыми белсенділік көрсеткіштерін қамтитын деректер жиынтығы, мысалы, жарияланымдар саны, авторлар саны, ағымдағы h-индекс, сілтеме жасау саны және т.б.

Анықталған заңдылықтар негізінде жүйе болашақта қызметкерлердің ғылыми белсенділігінің көрсеткіштерінің қалай өзгеретінін болжайды. Болжанған метрикаларға h-индекс, жарияланымдар саны және күтілетін сілтеме жасау саны кіреді. Мысалы, кездейсоқ орман алгоритмі әр түрлі ағаштардың шығу нәтижелерін біріккен түрде қолдана отырып, қызметкерлердің h-индексінің қалай өзгеретінін болжай алады.

Кездейсоқ орман алгоритмін пайдаланып қызметкердің h-индексін болжау мысалы (1 формула бойынша)

1-кесте – Қызметкерлердің ғылыми белсенділігі туралы деректер

Қызметкер	**Жарияланымдар саны**	**Сілтеме саны**	**Ағымдағы h-индекс**	**Авторлар саны**
Қызметкер A	10	200	5	3
Қызметкер B	15	350	8	4
Қызметкер C	8	100	4	2
Қызметкер D	12	220	6	3

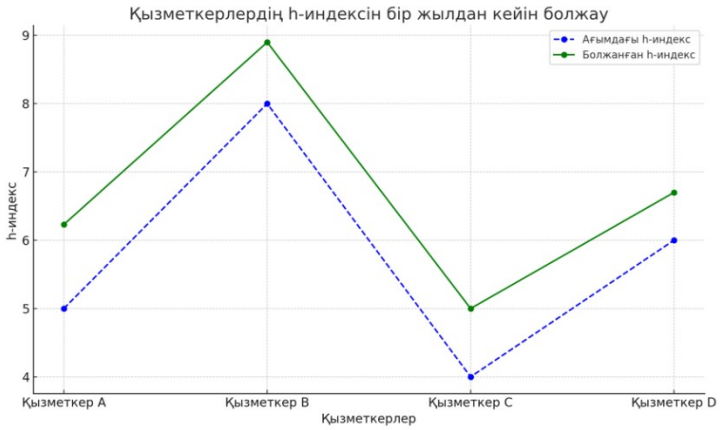
Университет қызметкерлерінің ғылыми белсенділігін болжау мысалы ретінде кестеде көрсетілген деректерді қарастырайық: бізде әрбір қызметкердің жарияланымдар саны, сілтеме жасау саны, ағымдағы h-индексі және авторлар саны туралы ақпарат бар. Мысалы, Қызметкер A-да 10 жарияланым, 200 сілтеме, h-индексі 5 және 3 автор бар. Мақсат – ағымдағы метрикалар негізінде қызметкерлердің бір жылдан кейінгі h-индексін болжау.

Кездейсоқ орман үшін X кіріс деректері бірнеше параметрлерден тұрады. Біріншіден, бұл қызметкердің жарияланымдар санын көрсететін X_1 параметрі. Содан кейін X_2 параметрі – бұл қызметкердің жұмысы қаншалықты жиі сілтеме жасалғанын көрсететін көрсеткіш. Үшінші параметр X_3 – бұл ағымдағы h-индекс, ол қызметкердің ғылыми белсенділігі мен танымалдығының маңызды көрсеткіші болып табылады. Соңғысы, X_4 параметрі – бұл авторлар саны, ол да ғылыми өнімділік пен сілтеме жасау көрсеткіштеріне әсер етуі мүмкін. Бұл деректер модель құру және қызметкердің болашақ h-индексін болжау үшін қолданылады.

Әрбір қызметкер үшін әрбір ағаш h-индекстің өсуін болжайды. Мысалы, Қызметкер A үшін X_1 h-индексін 6.2 деп болжайды, X_2 – 6.4, X_3 – 6.0, ал X_4 – 6.3. Ал 1 формула бойынша біз келесі нәтижені аламыз:

$$a(y) = \frac{1}{4}(6.2 + 6.4 + 6.0 + 6.3) = 6.225 \quad (2),$$

Финалдық болжам барлық ағаштардың болжамдарының орташа мәні ретінде есептеледі: Қызметкер A үшін бұл 6.225 болады. Сол сияқты, басқа қызметкерлер үшін де есептеулер жүргізіледі. Осылайша, Қызметкер B үшін болжамды h-индекс 8.9, Қызметкер C үшін — 5.0, Қызметкер D үшін — 6.7 болады. Барлық қызметкерлердің болжамды нәтижелерін төмендегі графиктен көруге болады (4-сурет).



4-сурет. Кездейсоқ орман алгоритмін қолдану арқылы болжаудың визуалды көрінісі

Бұл тәсіл тиімді, себебі әрбір ағаш деректердің әртүрлі аспектілері негізінде шешімдер қабылдайды, ал олардың орташа мәнін есептеу қателіктердің ықтималдығын азайтып, болжамның дәлдігін арттырады.

Қорытынды

Мақалада жоғары оқу орындарының оқытушыларының ғылыми белсенділігін бақылауға арналған интеграцияланған жүйе сипатталған, ол ғылыми деректерді басқарудың кешенді тәсілін ұсынады. Жүйені енгізу ғылыми қызметті басқарудың тиімділігін арттырып, жарияланымдар мен олардың дәйексөздерін бақылау процестерін автоматтандыруға, сондай-ақ ғылыми қызметті стратегиялық жоспарлауға ықпал етеді. Scopus және Web of Science дерекқорларымен интеграциялау жарияланымдар туралы мәліметтердің дәлдігі мен өзектілігін қамтамасыз етеді, бұл ғылыми жетістіктердің халықаралық аренада көрінуін арттыру үшін маңызды. Жасанды интеллект әдістерін, соның ішінде кездейсоқ орман алгоритмдерін қолдану, қызметкерлердің ғылыми белсенділігін болжауға мүмкіндік беріп, ғылыми кадрларды дамыту және ресурстарды бөлу туралы негізделген шешімдер қабылдауға ықпал етеді. Болашақта жүйені жаңа технологиялар мен деректерді талдау әдістерін ескере отырып, одан әрі дамыту жоспарланып отыр, бұл жүйенің функционалдық мүмкіндіктерін жақсартуға және қазақстандық жоғары оқу орындарының халықаралық рейтингтердегі позицияларын нығайтуға мүмкіндік береді.

Қолданылған әдебиеттер

1. *Riva, M.* (2022). Real-World Next. js: Build scalable, high-performance, and modern web applications using Next. js, the React framework for production. Packt Publishing Ltd.
2. *Matallah, H., Belalem, G., & Bouamrane, K.* (2021). Comparative study between the MySQL relational database and the MongoDB NoSQL database. International Journal of Software Science and Computational Intelligence (IJSSCI), 13(3), 38-63.
3. *Bradshaw, S., Brazil, E., & Chodorow, K.* (2019). MongoDB: the definitive guide: powerful and scalable data storage. O'Reilly Media.
4. *Jani, Y.* (2022). Optimizing database performance for large-scale enterprise applications. I nternational Journal of Science and Research (IJSR), 11(10), 1394-1396.
5. *Araujo, J. M. A., de Moura, A. C. E., da Silva, S. L. B., Holanda, M., de Oliveira Ribeiro, E., & da Silva, G. L.* (2021, June). Comparative performance analysis of NoSQL Cassandra and MongoDB databases. In 2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) (pp. 1-6). IEEE.

6. *Mongeon, P., & Paul-Hus, A.* (2016). The journal coverage of Web of Science and Scopus: a comparative analysis. Scientometrics, 106, 213-228.
7. *Montoya, F. G., Alcayde, A., Baños, R., & Manzano-Agugliaro, F.* (2018). A fast method for identifying worldwide scientific collaborations using the Scopus database. Telematics and Informatics, 35(1), 168-185.
8. *Abrishami, A., & Aliakbary, S.* (2019). Predicting citation counts based on deep neural network learning techniques. Journal of Informetrics, 13(2), 485-499.
9. *Schreiber, W. E., & Giustini, D. M.* (2019). Measuring scientific impact with the h-index: a primer for pathologists. American journal of clinical pathology, 151(3), 286-291.
10. *Pallathadka, H., Sonia, B., Sanchez, D. T., De Vera, J. V., Godinez, J. A. T., & Pepito, M. T.* (2022). Investigating the impact of artificial intelligence in education sector by predicting student performance. Materials Today: Proceedings, 51, 2264-2267.
11. *Louppe, G.* (2014). Understanding random forests: From theory to practice. arXiv preprint arXiv:1407.7502.

Аллажар Бекжан Хаирбекович – магистрант, Астана халықаралық университеті;
010000, Астана; e-mail: allazhar.working@gmail.com,

Тасболатұлы Нұрболат - PhD. Астана халықаралық университеті, Ақпараттық технологиялар және инженерия жоғары мектебінің доценті;
010000, Астана; e-mail: nurbolat.tasbolatuly@aiu.edu.kz

ЖЕМІС-КӨКӨНІС ӨНІМДЕРІНІҢ САПАСЫН БАҚЫЛАУДЫҢ БАҒДАРЛАМАЛАНАТЫН ЛОГИКАЛЫҚ КОНТРОЛЛЕР БАЗАСЫ НЕГІЗІНДЕ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ

Л.С. Дуйсембаева[1], А.А. Орманбекова[2]
[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
Laura29-86@mail.ru

Аннотация. *Бағдарламаланатын логикалық контроллер (БЛК) технологиясын және Factory I/O бағдарламалық қамтамасыз етуді пайдалана отырып, жеміс-көкөніс өнімдерінің сапасы мен санын бақылаудың автоматтандырылған жүйесін әзірлеу бойынша ұсыныс белгіленді. Жүйе озық сенсорлық технологияларды, деректерді өңдеу алгоритмдерін және БЛК бағдарламалауын біріктіреді, сонымен қатар өндірістік процестерді дәл басқару үшін зауыттық енгізу-шығару модельдеу ортасын қамтамасыз етеді. Оны жүзеге асыру өнімділікті арттыруға, өндіріс қалдықтарын азайтуға және жеміс-көкөніс өнеркәсібінде тұтынушылардың қанағаттануын арттыруға бағытталған. Бұл зерттеу сонымен қатар көкөністерді сұрыптауға арналған виртуалды ортаның маңыздылығын атап өтеді және автоматтандыру мен өнеркәсіптік өндірісті одан әрі дамыту үшін перспективаларды ашады, әсіресе сұрыптауды басқару жүйелерінің қолданыстағы төмен дәлдігін ескере отырып.*

Кілттік сөздер: *БЛК мүмкіндіктері, компьютерлік көру, бағдарламалық жасақтама, виртуалды зауыт, адам-машина интерфейсі.*

Кіріспе. Адамның денсаулығы мен өмір сүру ұзақтығы көбінесе тұтынылатын тағамның сапасына байланысты. Сондықтан тұтынушыны жоғары сапалы және қауіпсіз жемістер мен көкөністермен қамтамасыз ету маңызды мәселе болып табылады. Бұл мәселені шешудің бір әдісі-жемістер мен көкөністерді сақтау алдында сұрыптау. Сұрыптау бас тартуды қамтиды бастапқы бақылау объектілерінен алынған бөгде заттар, сондай-ақ механикалық әсерлер немесе фитобактериялар нәтижесінде мөлшері мен зақымдануы сәйкес келмейтін үлгілер. Сұрыптау процесі қолмен жұмыс істейтін механикалық әдістерді де, бұзылмайтын бақылаудың байланыссыз әдістерін қолдана отырып, автоматты сұрыптау жүйелерін де қамтиды.

Тапсырма қою. Өндірістік процестерді автоматтандыруды дамыту бағытын талдай келіп, өз күрдклілігі жағынан әр түрлі міндеттер шешімін тапқан үш негізгі сатыны атап кетуге болады. Өз кезегінде жұмыс машиналарының конструкциясын кемелдендірудің және дамытудың салдары болады. Бұл сатыда технологиялық процестерді автоматтандыру өңдеудің кейбір операцияларын ғана қамтиды, ал дайын өнімді жинау, бақылау және қаттау қолмен не механикалық құралдармен жүргізіледі. Автоматтандырудың екінші сатысы өңдеу, бақылау, жинау, қаттау т.б. операцияларды біріктіретін автоматтық машина жасауға тіреледі. Автоматтандырудың үшінші сатысы өндірістік процестерді кешенді автоматтандыру, яғни электр есептеуіш машинасын кеңінен пайдалана отырып, автоматтық учаске, цех пен зауыттар өндірістік автоматты басқару жүйесін, икемді роботты құру жатады [1].

Жемістердің жоғалуы мен сапасының төмендеуінің негізгі себебі өнімді жинау және тасымалдау кезінде алынған механикалық зақымға байланысты. Олардан өнім шығыны 10-20% құрайды. Ұрық терісіне механикалық зақым келтіру қолданыстағы Үстірт флораның енуіне ықпал етеді, микроорганизмдерді дамытуға жақсы жағдай жасайды. Жоғары сапалы өнімді сату үшін (тері бетіне зақым келтірместен, ауруларсыз) оны егіннен кейінгі өңдеу

жүзеге асырылады, ол жемістерді стандарттарға сәйкес сапасы мен мөлшері бойынша топтарға сұрыптауды (калибрлеуді) қамтиды. Әдетте ақаулы өнімдер таңдалады, оларды қозғалатын ағынға бөлу оңайырақ [2]. Осы уақытқа дейін біздің елімізде де, шетелде де желіде жиналған әр түрлі жұмыс принципінің жемістерін өңдеуге арналған құрылғылар кеңінен қолданылады. Себебі, олардың өнімділігі қолмен өңдеу өнімділігінен 3-5 есе жоғары. Алайда сызықтарда жемістер зақымдалады. Егер оның қозғалу бағыты өзгерсе, ұрыққа механикалық әсер артады (жемістер төмен қарай немесе конвейердің бір таспасынан екінші жағына қарай жылжиды), жемістердің бір-біріне, сондай-ақ конвейердің жұмыс органына әсер ету саны артады. Жемістерді егіннен кейінгі өңдеудің маңызды міндеті-оларды сапасы бойынша сұрыптау. Сыртқы зақым, мысалы, көгеру, шегіну, күйік жемістердің коммерциялық сапасын төмендетеді және сақтау мерзімін қысқартады. Қазіргі уақытта жемістердің механикалық және басқа зақымдануы бойынша сұрыптау қолмен жүзеге асырылады. Жемістер санының өсуімен және білікті жұмысшылардың жетіспеушілігімен сұрыптау процесін автоматтандыру қажет. Автоматтандырылған желі үшін атқарушы орган құру қажет [3].

Технологиялық процесстерді автоматтандыру. Siemens БЛК көмегімен көкөністерді сұрыптау процесін автоматтандыру тиімділік пен дәлдікті айтарлықтай жақсарта алады. Көкөністерді сұрыптау үшін Siemens автоматтандыру шешімдерін қалай қолдануға болатыны туралы егжей-тегжейлі айтатын болсақ.

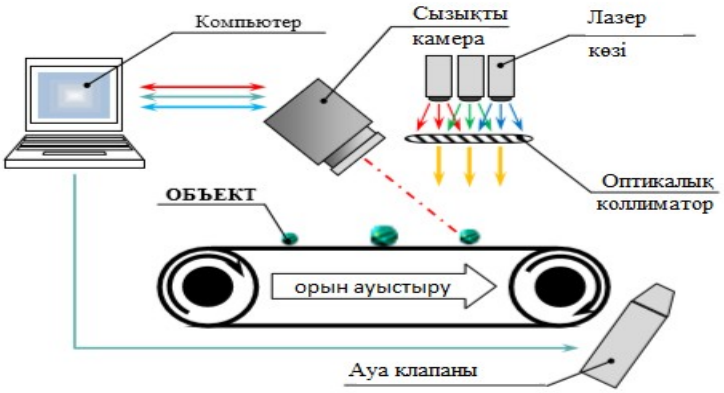
Сенсорлық интеграция: Siemens БЛК оптикалық сенсорлар, камералар, жақындық сенсорлары және салмақ сенсорлары сияқты әртүрлі сенсорлармен әрекеттесе алады. Бұл сенсорларды көкөністердің әртүрлі параметрлерін, соның ішінде өлшемін, түсін, пішінін, салмағын және сапасын анықтау үшін пайдалануға болады.

Ауыл шаруашылығындағы жұмыс өнімділігінің арттырудың шешім әдісі. Жұмыс барысында өнімділікті арттыруды TIA portal және Factory I/O базасында негіздерінде жұмыс сипатталатын болады.

Компьютерлік көру жүйесін зерттеу және қолдану. Компьютерлік көру (КК) - бұл бейнелеу негізінде автоматты тексеруді, процестерді басқаруды және өндірістік қосымшаларда роботтарды басқаруды қамтамасыз ету үшін бірқатар технологиялар мен әдістерді қолдану процесі. Компьютердің көру аясы кең және жан-жақты анықтаманы шығару қиын болғанымен, оның жалпы қабылданған анықтамасы - бұл «процесті немесе әрекетті басқару үшін, яғни деректерді шығару үшін кескіндерді талдау»

Компьютерлік көру – бұл машиналарды басқару немесе өңдеу үшін, компьютерлердің нақты көріністің бейнесін алуға және талдауға арналған жаңа технология. Оған ауылшаруашылық және тамақ өнімдеріндегі визуалды сапа сипаттамаларын объективті және бұзбай бағалауды жеңілдету үшін суреттерді түсіру, өңдеу және талдау кіреді . Кескінді талдауда қолданылатын әдістерге кескіндерді алу, суреттерді алдын-ала өңдеу және суреттерді интерпретациялау кіреді; бұл кескіндер мен суреттер ішіндегі қызығушылық тудыратын объектілерді сандық анықтауға және жіктеуге әкелеуі [4].

Осы ОЭТТЖ жұмыс істеу қағидасы төменде берілген. Бірнеше лазерлі диодтар мен коллиматорлардан құралған жеңіл жолақ көлік құралының жазықтықына шығарылады. Объектіге бағытталған коллимацияланған сәулелену екі бөлікке бөлінуі 1-суретте көрсетілген: бірінші объектінің бетінен көрінеді, екіншісі материалдың көп қырлы құрылымы арқылы өтеді және шашыраңқы (объектінің беткейінің қасиеттеріне сәйкес) бөлінеді.



1-сурет. Коллимацияланған лазерлі жарықтандыру аймағының жалпыланған сызбасы

Жарықтандырудың қалыптасуы оптикалық түрде анықталады, жазылады және объектінің бейнесін түсіреді. Содан кейін сурет өңделеді: алдымен бұл кескіннің көмегімен нақты объектілердің шекаралары анықталады, екіншіден, объектінің өлшенген сипаттамалары анықтамалық белгілермен салыстырылады. Өңдеуден кейін дербес компьютер пневматикалық клапанға сигнал жібереді, оның көмегімен нысандар фракцияларға бөлінеді. Лазердің сәулеленуін пайдаланатын кез-келген ОЭТТЖ негізгі кемшілігі - тіркеу аймағының біркелкі емес жарықтандыруы (Гаусс тарату түрінде) [5].

Кескінді сегментациялау. Кескінді сегменттеу кескінді көптеген мағыналы және дәйекті аймақтарға немесе сегменттерге бөлу процесін білдіреді. Мақсат – түс, құрылым немесе қарқындылық сияқты визуалды сипаттамаларына негізделген кескінге қызығушылық тудыратын әртүрлі объектілерді немесе аймақтарды бөлу.

Кескінді сегменттеу компьютерлік көрудің әртүрлі мәселелерінде, соның ішінде нысандарды тану, кескіндерді түсіну және көріністерді талдауда шешуші рөл атқарады. Кескінді сегменттеу арқылы біз белгілі бір объектілерді немесе аймақтарды шығарып, оқшаулай аламыз, содан кейін оларды одан әрі талдауға немесе басқаруға болады. Кескіндерді сегменттеудің бірнеше тәсілдері бар, соның ішінде:

1. Шекті мән: бұл әдіс шекті мәнді орнатуды және олардың қарқындылық немесе түс мәндерінің шекті мәннен жоғары немесе төмен болуына негізделген пикселдерді немесе аймақтарды жіктеуді қамтиды.

2. Аймаққа негізделген сегментация: бұл әдіс пикселдерді түс, текстура немесе кеңістіктік жақындық сияқты белгілі бір критерийлерге негізделген аймақтарға топтайды. Жалпы аймақтық сегменттеу алгоритмдеріне аймақты ұлғайту және аймақтарды бөлу/біріктіру әдістері кіреді.

3. Шеттерге негізделген сегментация: бұл тәсіл кескіннің әртүрлі нысандары немесе аймақтары арасындағы жиектерді немесе шекараларды анықтайды және оларды ұстанады. «Canny» жиектерін анықтау алгоритмі сияқты әдістерді жиектерге негізделген сегменттеу үшін пайдалануға болады.

4. Кластерлеу: k-means немесе mean-shift сияқты кластерлеу алгоритмдерін ұқсас пикселдерді топтастыру және оларды басқа кластерлерден бөлу үшін пайдалануға болады.

5. Су айдынын сегментациялау: бұл әдіс кескінді топографиялық карта ретінде өңдейді және бассейндердің су басуын имитациялайды. Су айдынын сегменттеу әсіресе нақты шекаралары бар нысандарды сегменттеу үшін пайдалы. Сегменттеу әдісін таңдау нақты қолдануға, кескін сипаттамаларына және қажетті деталь деңгейіне байланысты. Әрбір тәсілдің өзіндік күшті жақтары мен шектеулері бар және ең қолайлы әдісті таңдау тапсырманың нақты талаптары мен қиындықтарын ескеруді талап етеді [6].

Суреттер түсті цифрлық фотокамера үшін Пападакис және басқалар жасағанға ұқсас

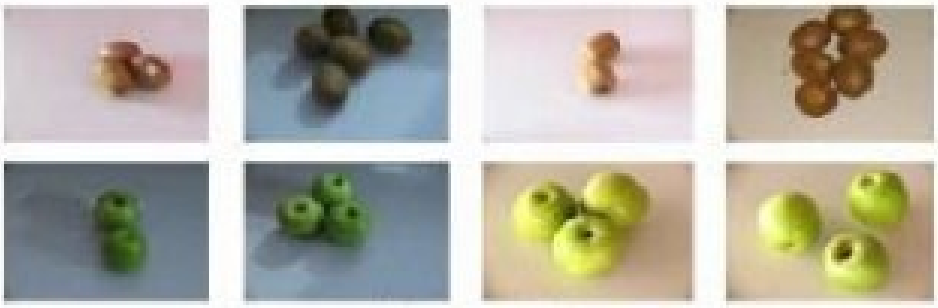
кескін алу жүйесінің көмегімен түсірілді. Түстер температурасы 650 ° С (Филипс, табиғи күндізгі жарық, 18Вт) және 95% түс беру индексі (Ra) жақын төрт люминесцентті лампалар (ұзындығы 60 см) арқылы жарықтандырылды. Төрт лампа сынамадан 35 см биіктікте және үлгіні жазықтықпен 45 бұрышта төртбұрыш етіп орналастырылды, тамақ үлгісіне біркелкі жарық интенсивтілігі берілді. Түсті цифрлық фотокамера (ТЦФ) Power Shot G3 (Canon, Жапония) үлгіден 22,5 см қашықтықта тігінен орналасқан. Камера линзасының осі мен жарық көздерінің арасындағы бұрыш45 шамасында болды. Сәулелендіргіштер мен ТЦФ үлгілері бөлмеден жарық түспеуі үшін ішкі қабырғалары қара түске боялған ағаш қораптың ішінде болды. Камераның ақ балансы Kodak стандартты сұр түсті диаграммасы арқылы орнатылды. Түстер стандарттары мезгіл-мезгіл суретке түсіріліп, талданып отырды, бұл жарықтандыру жүйесі мен ТЦФ-ның дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз етеді. ТЦФ-мен максималды ажыратымдылықта түсірілді (2272 · 1704 пиксель) және Pentium IV, 1200 МГц компьютерінің USB портына қосылды. Canon Remote Capture Software (2.7.0 нұсқасы) кескіндерді компьютерде тікелей TIFF форматында сығымдамай алу үшін пайдаланылды [7].

Жарықтандыру - бұл тағамның сапасын бағалау үшін кескін алудың маңызды алғышарты. Түсірілген суреттің сапасына жарықтандыру жағдайы үлкен әсер етуі мүмкін 2 -суретте көрсетілген. Жоғары сапалы кескін оны өңдеудің келесі кезеңдерінің уақыты мен күрделілігін азайтуға көмектеседі, бұл кескінді өңдеу жүйесінің өзіндік құнын төмендетуі мүмкін. Әр түрлі қосымшалар әр түрлі жарықтандыру стратегияларын қажет етуі мүмкін. Жарықтандыру жүйесінің өнімділігі кескіннің сапасына үлкен әсер етеді және жүйенің жалпы тиімділігі мен дәлдігінде маңызды рөл атқарады. Заттың нақты бейнесін шығаруда жарықтандыру түрі, орналасуы және түс сапасы маңызды рөл атқарады. Жарықтандыру шаралары алдыңғы немесе артқы жарықтандыруға топтастырылған. Алдыңғы жарықтандыру бұйымның сыртқы беткейлік ерекшеліктерін анықтауға арналған жарықтандыруға қызмет етеді, ал артқы жарықтандыру заттың фонын жақсарту үшін қолданылады [8].

Жарық көздері де әр түрлі, бірақ олар қыздыру, люминесценттік, лазер, рентген түтіктері және инфрақызыл лампаларды қамтуы мүмкін. Шамды таңдау сапаға және кескінді талдауға әсер етеді . Саркар жарықтандыруды баптау арқылы заттың сыртқы түрін қызығушылық ерекшелігімен нақтылап немесе бұлыңғырлата отырып түбегейлі өзгертуге болатындығын анықтады [9]. Жарықтандыру жүйесінен шыққан сәуле затты жарықтандырғанда, ол арқылы беріледі, шағылысады немесе сіңіріледі.

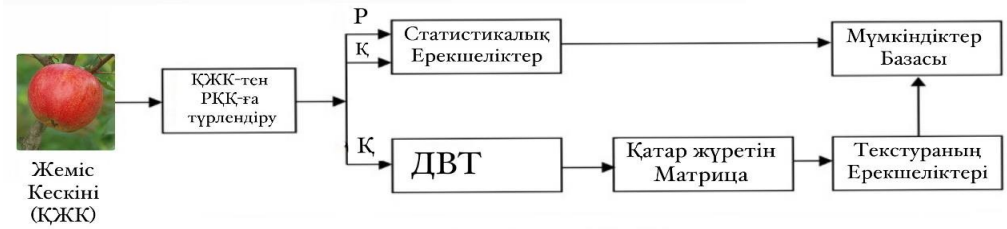
Бұл құбылыстар оптикалық қасиеттер деп аталады. Жұтылған жарықты қайтадан шығаруға болады (флуоресценция), әдетте толқын ұзындығында. Бірқатар қосылыстар ультрафиолет сәулесімен қозған кезде спектрдің көрінетін аймағында флуоресценция шығарады.

Нысаннан шығатын оптикалық қасиеттер мен флуоресценция сәулесі - түсетін жарықтың сәулесі мен толқын ұзындығының интегралды функциялары және объектінің химиялық және физикалық құрамы [10].



2-сурет. Жарықтандырудың айырмашылығы

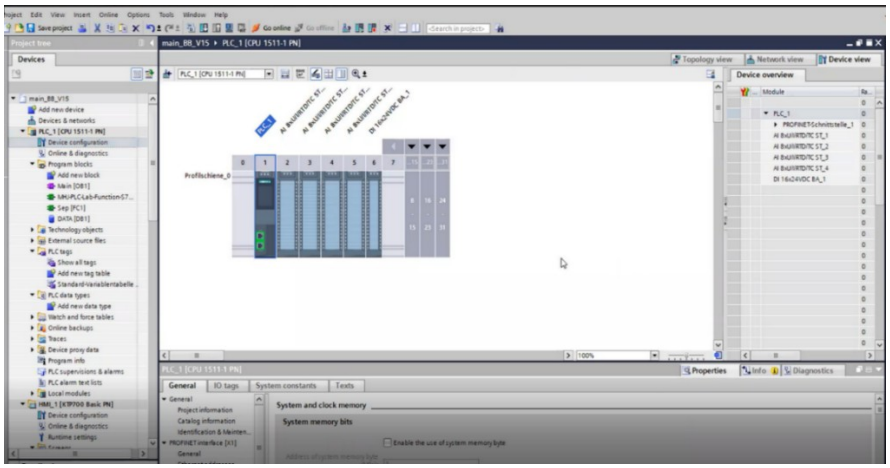
Компьютерлік көру форманы жіктеу, ақауларды анықтау, сапа бойынша бағалау және әртүрлілікті жіктеу сияқты тапсырмалар үшін қолданылған. Үлгі кескіндерімен салыстыру үшін стандарт ретінде түрлі-түсті модель қолданылды [11]. Әзірленген алгоритм жақсы қарама-қарсы ақаулармен қанағаттанарлық нәтиже берді; бірақ дәлдікті жақсарту үшін сегментациядан кейінгі екі қосымша жетілдіру қажет болды. Жаңа адаптивті сфералық түрлендіру жасалды және машинада көру ақауларын сұрыптау жүйесінде қолданылды 3-суретте көрсетілген.



3-сурет. Функцияны шығару

HMI (адам-машина интерфейсі) және Siemens БЛК (бағдарламаланатын логикалық контроллер) бағдарламалау арқылы көкөністер мен жемістерді сұрыптау үшін келесі қадамдары орындалады.

Бағдарламаны іске қосқан кезде ең алдымен жобада құрылғы конфигурациясын жасау жүргізіледі. Құрылғы (БЛК) каталог тізімінен таңдалуы керек. Таңдалған БЛК жоба конфигурациясында пайда болады (ағымдағы БЛК моделі CPU 1511-1 PN). Келесі кезекте БЛК құрылғысына модульдер қосамыз. Енгізу/шығару модульдері дискретті және аналогтық болып бөлінеді [12]. Дискретті енгізу модульдері функционалды түрде дискретті сигналдарды қабылдауға және өңдеуге және оларды бастаушы сигнал түскеннен кейін келісілген хаттама бойынша желінің жалпы шинасына беруге арналған. Аналогтық енгізу модульдері аналогтық сигналдарды қабылдайды және өңдейді және белгіленген протокол бойынша жалпы шинаға жібереді. Біздің жағдайда тек дискретті модульді қолданамыз, екі жауаптың біріне қол жеткізуге 4-суретте көрсетілген.



4-сурет. Құрылғыға кіру параметрлері

Белгілі бір қосымшаға арналған HMI (адам-машина интерфейсі) арқылы жүзеге асырылатын өндірістік процесті басқару логикасы процестің талаптары мен күрделілігіне байланысты өзгеруі мүмкін. Нақты уақыт режимінде технологиялық параметрлерді өлшеуді қамтамасыз ететін сенсорлардан, құрылғылардан немесе басқа құрылғылардан деректерді алу үшін HMI конфигурациялаймыз [13].

Оператордың назарын қажет ететін процестің немесе оқиғалардың қалыптан тыс күйлері үшін дабыл жағдайларын анықталады. Дабылдарды көрсету және іске қосылған кезде дыбыстық немесе визуалды ескертулер жасау үшін HMI орнатылады.

Қорытынды. Қорытындылай келе, жеміс-көкөніс өнімдерін сұрыптаудың автоматтандырылған жолағын әзірлеуде теориялық және эксперименталдық зерттеулердің алынған нәтижелерінен жақсы түйін шығаруға болады. Біз мына мәселені түсінсек: адамның денсаулығы мен өмір сүру ұзақтығы көбінесе тұтынылатын тағамның сапасына байланысты. Сондықтан тұтынушыны жоғары сапалы және қауіпсіз жемістер мен көкөністермен қамтамасыз ету маңызды мәселе болып табылады. Бұл мәселені шешудің бір әдісі-жемістер мен көкөністерді сақтау алдында сұрыптау. Адамның технологияға қарағанда сұрыптаудағы жылдамдығы және оның сапалы сұрыптауы төмен екендігі анық.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Smith, J. A. Industrial Automation: Hands-On. A comprehensive guide that includes practical examples and case studies of automation systems, including those using Siemens PLCs. 2019
2. Bolton, W. Programmable Logic Controllers. An essential textbook that covers the fundamentals of PLC technology, including Siemens PLCs, with practical applications. 2017
3. Tiwari, R., & Jain, P. Automation and Control Systems: For Quality and Productivity Improvement. 2019
4. Karlberg, P., Åkesson, K., & Strömberg, D. (2017). "Model-based design of a control system for a fruit sorting and packaging line." In Proceedings of the 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) (pp. 1782-1789). IEEE. A research paper demonstrating the use of automation in fruit sorting systems, which may be relevant to your topic.
5. Siemens AG. (2021). "Factory I/O: Real-time Automation Sandbox." Siemens' official website provides information on Factory I/O, a software tool used for simulating industrial automation processes.
6. International Society of Automation (ISA). (2021). "Automation Basics: A Guide for

the Non-Automation Professional." A comprehensive guide for individuals new to automation, which includes information on PLCs, including Siemens PLCs.

7. Rinaldi, A. (2018). "Advanced PLC Hardware and Software in Industrial Automation." A technical book that delves into advanced aspects of PLC technology, suitable for those looking to deepen their knowledge.

8. Козлов О. С., Скворцов Л. М. Программный комплекс "МВТУ" в научных исследованиях и прикладных разработках / Козлов О. С., Скворцов Л. М. // Математическое моделирование. - 2015. - Р. 27, № 11.

9. Гребенюк, И.А. Совершенствование технологического процесса и технических средств сортирования картофеля: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Гребенюк. - Саратов, 2019. - 25 с.

10. M. A. Hasan and M. S. Islam, "Automation of glass manufacturing process using PLC and SCADA," Journal of Electrical and Electronic Engineering, vol. 4, no. 4, pp. 173-178, 2016.

11. Buzacott, J.A.; Shanthikumar, J.G. Models for understanding flexible manufacturing systems. AIIE Trans. 1980, 12, 339–350

12. Downs, B. T., and Grout, J. R., A Brief Tutorial on Mistake-Proofing, Poka-Yoke and ZQC, http://facultyweb.berry.edu/jgrout/tutorial.html, pdf document

INTERNET алынған құжаттар:

13. Pallante, R., Application Equipment for Cold Adhesives, http://www.nordson.com/en-us/divisions/adhesive-dispensing/Literature/PKR/PKR1644.pdf, pdf document

Дуйсембаева Лаура Сериковна – әл-Фараби атындағы Қазақ ҰлттықУниверситетінің 1-курс докторанты;
Алматы; e-mail: Laura29-86@mail.ru

Орманбекова Айнур Алибековна – PhD, Алматы технологиялық университеті;
Алматы; e-mail: ainura.alibekd@gmail.com

САУДА КЕШЕНІНЕ АРНАЛҒАН КӨП ҚАБАТТЫ КӨЛІК ТҰРАҒЫН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ

А.А. Асланов, А. Асет, С.К. Кошкинбаев
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Бұл жұмыс интеллектуалды басқару жүйесінің қажеттілігі қазіргі заманғы сауда кешендері үлкен көлік ағымын қабылдайтынын ескере отырып Әрбір келушіге ыңғайлы тұрақ орнын табу және сауда орталығына тез жету маңыздылығын ескеріп. тұрақ орындарын тиімді басқармау көбінесе келушілердің уақытын жоғалтпауды мақсат ете отырып проблемаларды шешу үшін интеллектуалды басқару жүйесін енгізу арқылы тұрақ орындарын оңтайландыруға қарастырылды.

Кілттік сөздер: инттелектуалды басқару, үлгілеу, үрдісті модельдеу, реттеу, оңтайландыру.

Кіріспе

Сауда кешеніндегі көп қабатты машина тұрағын интеллектуалды басқару жүйесін құру қазіргі таңда урбанизацияның қарқындылығымен бірге көлік саны да күрт өсуде. Әсіресе ірі қалаларда көлік кептелісі мен тұрақ мәселесі басты проблемалардың біріне айналып отыр. Осыған байланысты көп қабатты сауда кешендерінде тиімді машина тұрағын ұйымдастыру қажеттілігі артып келеді. Технологияның дамуымен бұл мәселені интеллектуалды басқару жүйелері арқылы шешу мүмкін болып отыр. Интеллектуалды жүйелер машина тұрағын тиімді пайдалануға, уақытты үнемдеуге және пайдаланушыларға ыңғайлы жағдай жасауға бағытталған.

1. Жалпы сипаттамалары

Интеллектуалды басқару жүйесінің қажеттілігі қазіргі заманғы сауда кешендері үлкен көлік ағымын қабылдайды. Әрбір келушіге ыңғайлы тұрақ орнын табу және сауда орталығына тез жету маңызды. Алайда, тұрақ орындарын тиімді басқармау көбінесе келушілердің уақытын жоғалтуға, энергия шығынының көбеюіне және жол қозғалысын бұзуға алып келеді. Осы проблемаларды шешу үшін интеллектуалды басқару жүйесін енгізу арқылы тұрақ орындарын оңтайландыруға болады. Бұл жүйе көліктерді тіркеу, бос орындарды анықтау және келушілерге ең жақын тұрақ орнын ұсыну секілді функцияларды атқара алады.

Жүйенің негізгі компоненттеріне тоқталсақ интеллектуалды басқару жүйесі бірнеше негізгі компоненттерден тұрады:

1. Датчиктер мен камералар: Бұл компоненттер тұрақ алаңының әрбір деңгейінде және әрбір тұрақ орнында орналасады. Олар көлік қозғалысын, бос орындарды, кіру-шығу аймақтарын қадағалайды және деректерді орталық басқару жүйесіне жібереді. Камералар көліктердің нөмірлерін тану арқылы қауіпсіздік деңгейін де арттырады.
2. Орталық басқару жүйесі: Бұл жүйе барлық датчиктер мен камералардан алынған деректерді өңдеп, тұрақ орнының ағымдағы жағдайын бақылап отырады. Сондай-ақ, ол кіруші көліктерге бағыт-бағдар беріп, ең қолайлы тұрақ орнын ұсынады.
3. Мобильді қосымша: Келушілер мобильді қосымша арқылы сауда кешеніндегі тұрақ туралы ақпаратты алдын ала алып, бос орындарды брондап, өз уақыт-тарын үнемдей алады. Бұл қосымша нақты уақыттағы деректерге қол жеткізіп, тұрақтағы жағдайды бақылауға мүмкіндік береді.
4. Ақылды басқару алгоритмдері: Жүйенің ең маңызды бөлігі болып табылады. Олар көлік қозғалысының ағымын талдап, бос тұрақ орындарын тиімді бөлу үшін алгоритмдерді қолданады. Мысалы, белгілі бір уақытта сауда кешеніне келетін адамдар

саны көп болса, жүйе көліктердің көп жиналуын болдырмай, тұрақ орнын ал-дын ала жоспарлай алады.

1-сурет. Көпқабатты тұрақ

2. Жүйенің артықшылықтары

Жүйенің артықшылықтары Интеллектуалды басқару жүйесінің басты артықшылықтары:

- Тиімділік: Жүйе тұрақ орындарын тез анықтап, оларды тиімді пайдалану арқылы кептелістерді азайтады. Бұл келушілердің уақытын үнемдейді және отын шығынын қысқартады.
- Қауіпсіздік: Камералар мен сенсорлар тұрақтағы әрбір көлікті бақылайды, бұл жүйе қауіпсіздік деңгейін арттырады және ұрлық немесе зақым келтіру сияқты мәселелерді азайтады.
- Қолайлылық: Мобильді қосымша арқылы пайдаланушылар тұрақ орнын алдын ала брондай алады, бұл оларға уақытын жоспарлауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жүйе тұрақ орнын табуға кеткен уақытты айтарлықтай қысқартады.
- Қоршаған ортаға әсерді азайту: Тұрақтағы көліктерді тиімді орналастыру арқылы көлік қозғалысы азаяды, бұл ауаға зиянды газдардың шығарылуын төмендетеді.

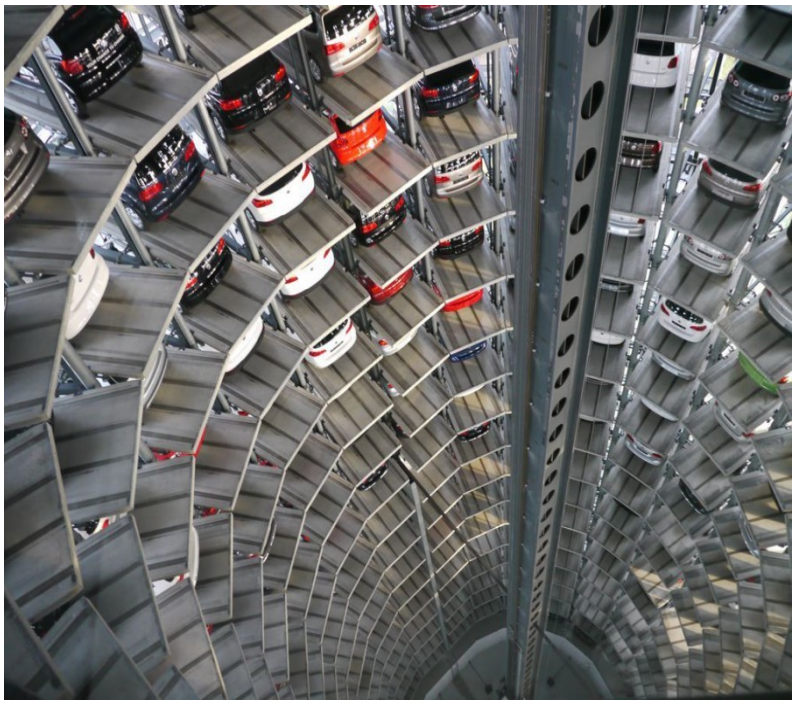
Болашақта қолдану мүмкіндіктеріне тоқталсақ интеллектуалды басқару жүйесі болашақта тек сауда кешендерінде ғана емес, сонымен қатар ірі қалалардағы көп деңгейлі тұрақ орындарында, бизнес орталықтарында және тұрғын үйлерде де кеңінен қолданылуы мүмкін. Бұдан басқа, бұл жүйелер көліктердің автономды басқару технологияларымен бірігіп, толық автоматтандырылған тұрақ жүйесін құруға мүмкіндік береді.

2-сурет. Ақылды көпқабатты тұрақ

Жүйені одан әрі жетілдіру үшін жасанды интеллект пен машиналық оқыту технологияларын енгізуге болады. Бұл көлік қозғалысының паттерндерін болжауға, келушілердің қалауларын есепке алуға және тұрақ орындарын автоматты түрде бөлуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, энергия тиімділігіне басымдық беру үшін тұрақ жүйелері электр көліктерін зарядтауға арналған станцияларды да қамти алады.

Көп қабатты машина тұрағын интеллектуалды басқару жүйесін құру қазіргі заманғы сауда кешендеріндегі көлік қозғалысын тиімді ұйымдастыру мен басқарудың маңызды бөлігі болып табылады. Бұл жүйе тұраққа келушілердің уақытын үнемдеуді, көлік құралдарының қауіпсіздігін арттыруды, сонымен қатар орындарды максималды пайдалануды қамтамасыз етеді.

Интеллектуалды басқару жүйесі көлік тұрақтарына кіру және шығу процестерін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мұнда сандық технологиялар мен жасанды интеллект элементтері қолданылады. Мысалы, тұрақтың кіреберісіне орнатылған камералар көліктің мемлекеттік нөмірін тану арқылы пайдаланушыны автоматты түрде тіркейді. Ал бос орындарды арнайы сенсорлар анықтап, тұраққа келушіге ең ыңғайлы орынды көрсетеді.



3-сурет. Көпқабатты кешендегі ақылды тұрақ

Жүйенің басты артықшылықтарының бірі — тұрақ кеңістігін оңтайландыру. Жасанды интеллект алгоритмдері келушілер ағынын талдайды, сол арқылы сауда кешеніне келушілер санының артуы немесе азаюына байланысты тұрақ орындарын тиімді түрде үлестіреді. Сонымен қатар, арнайы қосымша арқылы пайдаланушылар алдын ала бос орындарды брондау мүмкіндігіне ие болады. Бұл сауда орталығындағы уақытты қысқартады және келушілердің тұрақ табу кезіндегі ыңғайсыздықтарын жояды.

Интеллектуалды жүйелер қауіпсіздікті де қамтамасыз етеді. Тұраққа қойылған көліктерді бейнебақылау камералары тәулік бойы қадағалап, көліктің тұрағында қауіпсіз екенін растайды. Сонымен қатар, жүйе орын алған төтенше жағдайлар туралы ақпаратты дер кезінде хабарлап, кезекші қызметкерлерді жылдам әрекет етуге шақырады.

Сондай-ақ, көп қабатты машина тұрағын интеллектуалды басқару жүйесін құру сауда кешендеріндегі көлік қозғалысын оңтайландырудың заманауи шешімі болып табылады. Ол көлік тұрақтарын пайдалану тиімділігін арттырып қана қоймай, пайдаланушыларға ыңғайлы және қауіпсіз орта ұсынады.

Интеллектуалды басқару жүйесінің қажеттілігі қазіргі заманғы сауда кешендері үлкен көлік ағымын қабылдайды. Әрбір келушіге ыңғайлы тұрақ орнын табу және сауда орталығына тез жету маңызды. Алайда, тұрақ орындарын тиімді басқармау көбінесе келушілердің уақытын жоғалтуға, энергия шығынының көбеюіне және жол қозғалысын бұзуға алып келеді. Осы проблемаларды шешу үшін интеллектуалды басқару жүйесін енгізу арқылы тұрақ орындарын оңтайландыруға болады. Бұл жүйе көліктерді тіркеу, бос орындарды анықтау және келушілерге ең жақын тұрақ орнын ұсыну секілді функцияларды атқара алады. Технологияның дамуымен бұл мәселені интеллектуалды басқару жүйелері арқылы шешу мүмкін болып отыр. Интеллектуалды жүйелер машина тұрағын тиімді пайдалануға, уақытты үнемдеуге және пайдаланушыларға ыңғайлы жағдай жасауға бағытталған. Интеллектуалды басқару жүйесі көлік тұрақтарына кіру және шығу процестерін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мұнда сандық технологиялар мен жасанды интеллект элементтері қолданылады. Мысалы, тұрақтың кіреберісіне орнатылған камералар көліктің мемлекеттік нөмірін тану арқылы пайдаланушыны автоматты түрде

тіркейді. Ал бос орындарды арнайы сенсорлар анықтап, тұраққа келушіге ең ыңғайлы орынды көрсетеді.

3. Қорытынды

Қорытындылай келе, сауда кешеніндегі көп қабатты машина тұрағын интеллектуалды басқару жүйесін құру қаладағы көлік тұрақтарының тиімділігін арттыруда маңызды қадам болып табылады. Мұндай жүйелер көлік қозғалысын оңтайландырып, пайдаланушыларға ыңғайлы жағдай жасап қана қоймай, экологиялық және экономикалық тиімділікті де қамтамасыз етеді. Интеллектуалды технологиялардың дамуы болашақта мұндай жүйелерді кеңінен қолдануға және тұрақ проблемаларын түбегейлі шешуге мүмкіндік береді.

Әдебиеттер тізімі

1. Тулебаев С, Нуртаев М., Исаев Ж. Интеллектуальные системы управления многоуровневыми парковками в мегаполисах // Вестник КазНИТУ. – 2020. – №6. – С. 145-150.
2. Бекбосынов А, Жандосов Б. Многоуровневые стоянки и управление транспортными потоками // Научные исследования и разработки. – 2019. – №4. – С. 88-94.
3. Zhussupbekov A, Sadykhanov B. Development of an Intelligent Control System for Multilevel Car Parking in Urban Areas // Journal of Civil Engineering and Management. – 2020. – Vol. 16, №2. – P. 75-82.
4. Жайлаубеков Т, Сарбасов А. Многоуровневые парковки в условиях городских агломераций: тенденции и технологии // Инновации в строительстве. – 2019. – №7. – С. 65-71.
5. Ivanov A, Petrov D. Intelligent Parking Systems in Commercial Complexes: Efficiency and Optimization // Smart Cities and Urban Management. – 2018. – Vol. 10, №3. – P. 55-62.
6. Абдрахманов М, Дауренбеков А. Применение интеллектуальных технологий для управления автомобильными парковками в торговых центрах // Вестник Транспортных Технологий. – 2021. – №2. – С. 100-105.
7. Serikov E, Akimov V. Designing and Implementing Smart Parking Solutions in Urban Trade Complexes // International Journal of Intelligent Transportation Systems. – 2017. – Vol. 13, №1. – P. 34-42.
8. Ибраев К, Темирбеков Б. Система управления многоуровневыми парковками с использованием искусственного интеллекта // Информационные технологии и управление. – 2018. – №3. – С. 77-82.
9. Mun G, Alimov R. Intelligent Parking Management in Multi-Level Commercial Centers // Advanced Automation Technologies. – 2019. – Vol. 11, №4. – P. 88-94.
10. Касымов Н, Омаров А. Проблемы и перспективы использования интеллектуальных парковочных систем в условиях плотной городской застройки // Транспорт и логистика. – 2020. – №5. – С. 44-50.
11. Нуртаев Р., Досымбеков А. Алгоритмы управления многоуровневыми парковками с использованием ИИ // Казахстанский журнал науки и техники. – 2019. – №6. – С. 35-40.
12. Amanbayev A, Beketov M. Optimization of Car Parking Systems in Smart Trade Complexes // Urban Transportation Innovations. – 2020. – Vol. 14, №2. – P. 22-29.
13. Жумабеков А. , Мухамедьяров Ж. Интеллектуальные парковочные системы в многоуровневых торговых комплексах: практика и внедрение // Вестник науки и технологий. – 2021. – №9. – С. 120-124.

Асет Асхат – магистр, аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: aset.asxat@mail.ru

Асланов Аманжан Асланұлы – студент. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: aman.aslanov@mail.ru

Кошкинбаев Султанбек Куралугли – студент. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: sul_koshkinbaev@mail.ru

ӨКПЕНІҢ СОЗЫЛМАЛЫ ОБСТРУКТИВТІ АУРУЫ БЕЛГІЛЕРІНІҢ МАШИНАЛЫҚ ДИАГНОСТИКАСЫ ҮШІН ӨКПЕНІҢ КТ КЕСКІНІН ӨҢДЕУ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ

Т.С. Сарсембаева[1], М.Е. Мансурова[1], Н.С. Есенгалиева[2], А.К. Кошанова[1]
[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Шығыс Қазақстан облыстық мамандандырылған медициналық орталығы ШЖҚ КМК, Өскемен, Қазақстан

Аңдатпа. *Өкпенің созылмалы аурулары, соның ішінде кәсіптік этиология (өкпенің созылмалы обструктивті ауруы, пневмокониоз, шаң және токсикалық бронхит) ұлттық денсаулық сақтаудың өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Бұл аурулар еңбекке қабілетті халықтың уақытша еңбекке жарамсыздық және мезгілсіз өлім көрсеткіштерінің өсуіне әсер етеді. Ұлттық денсаулық сақтаудың заманауи инновациялық дамуы пульмонологиялық бейіні бар науқастарды диагностикалау мен емдеудің дәстүрлі клиникалық әдістерін және бронх-өкпе патологиясы бар науқастардың денсаулық жағдайын бақылауға және қашықтан бақылауға бағытталған заманауи цифрлық және компьютерлік технологияларды кешенді үйлестірусіз мүмкін емес. Бүгінгі күнге дейін медицинада және білімнің басқа салаларында сынақтан өткен талдау мен болжау әдістерінің көптіген түрлері жасалды. Мақалада өкпенің созылмалы обструктивті ауруы белгілерінің машиналық диагностикасы үшін өкпенің КТ (компьютерлік томография) кескінін өңдеуді автоматтандырудағы қолданылатын алгоритмдер салыстырылып, нәтижесі шығарылды.*

Түйін сөздер: *Созылмалы респираторлық аурулар, денсаулық сақтау саласы, машиналық оқыту әдістері, өкпе аурулары, КТ талдауы.*

Кіріспе

Өкпенің созылмалы обструктивті ауруын (COPD) машиналық диагностикалау үшін өкпенің КТ суреттерін өңдеу жүйесін дамыту медициналық бейнелеу және диагностикалық дәлдіктегі айтарлықтай жетістіктерді білдіреді. Жаһандық өлім-жітімнің жетекші себебі болып табылатын COPD, ең алдымен, алтын стандарт болғанына қарамастан, шектеулері мен қарсы көрсеткіштері бар спирометриялық сынақтарды қолдану арқылы диагноз қойылады [2]. Осы қиындықтарды шешу үшін соңғы зерттеулер диагностикалық үдерісті жақсарту үшін машиналық оқыту (ML) және терең оқыту (DL) үлгілерін пайдалануға бағытталған. Мысалы, конволюционды нейрондық желілер (CNN) COPD-ны төмен дозалы КТ суреттерінен жіктеуге, AUC 0,97 және 0,89 дәлдік сияқты жоғары өнімділік көрсеткіштеріне қол жеткізуге уәде берді [2]. Бұдан басқа, ең маңызды болжаушыларды анықтау үшін гибридті мүмкіндіктерді таңдау әдістерін және теріс емес матрицалық факторизацияны (NMF) пайдалану ұсынылды, осылайша COPD нәтижелерін болжауда ML алгоритмдерінің өнімділігін арттырады, соның ішінде аурудың үдеуін және ауруханаға жатқызу [1]. Литлвуд-Пэйли эмпирикалық толқындық трансформациясын (LPEWT) және жергілікті сызықтық ендіруді (LLE) сенімді мүмкіндіктерді анықтау үшін қолдану өкпе ауруларын анықтаудағы осы озық әдістердің әлеуетін одан әрі көрсетеді. Нәтижесінде, бұл инновациялар ерте және дәл диагнозды жеңілдетіп қана қоймайды, сонымен қатар уақтылы медициналық араласуға мүмкіндік береді, сайып келгенде, COPD-дан болатын өлім-жітім деңгейін төмендетеді. Біздің зерттеуіміз клиникалық бағалауды арттыру және COPD диагнозын жақсарту үшін терең оқыту үлгілерінің әлеуетін көрсетеді [2].

Қазіргі уақытта медициналық кескіндерді сақтау жүйелері немесе ғылыми қызметкерлер осы кескіндерге аннотациялардың жоқтығы проблемасын бастан кешіруде,

соның салдарынан үлкен деректер жиынын автоматтандырылған талдау үшін, сондай-ақ клиникалық және ғылыми зерттеулер үшін пайдалану мүмкін емес. Кескендірдің датасетін жинау мен оларды аннотациялау көптеген радиолог мамандардың тұжырымдамасы, уақытты және верификациялау ресурстарын қажет етеді.

Дүниежүзілік денсаулық сақтау ұйымының (ДДСҰ) мәліметтері бойынша, COPD әлемдегі өлім-жітімнің төртінші себебі болып табылады және 2030 жылға қарай үшінші болу ықтималдылығы бар. ДДҰ COPD дамуының негізгі қауіп факторлары темекі шегу, үй ішіндегі және сыртындағы ауаның ластануы, жұмыс орнындағы шаң мен химиялық заттардың әсері екенін атап өтеді. COPD-ны тиімді басқару үшін ауруды ерте анықтау және емдеуді уақтылы бастау маңызды, бұл асқынулардың алдын алуға, пациенттердің өмір сүру сапасын жақсартуға және олардың тәуелсіздігін сақтауға көмектеседі [3].

Кеуде қуысының компьютерлік томографиясы (КТ) күнделікті тәжірибеде ұсынылмайды. Дегенмен, COPD диагнозына күмәнданатын болсаңыз, жоғары ажыратымдылықтағы КТ дифференциалды диагнозды қоюға көмектеседі. Сонымен қатар, өкпе көлемін азайту операциясы сияқты хирургиялық араласуды қарастырған кезде кеуде қуысының КТ сканерлеуі қажет, өйткені эмфиземаның таралуы хирургиялық операцияға көрсеткішті анықтаудағы маңызды факторлардың бірі болып табылады.

Өкпенің созылмалы обструктивті ауруын ерте анықтау өте маңызды, өйткені ол аурудың траекториясын айтарлықтай өзгерте алады және пациенттің нәтижелерін жақсартады. COPD бүкіл әлемде 400 миллионға жуық адамға әсер етеді және көбінесе өкпенің айтарлықтай зақымдануы орын алған кеш диагноз қойылады, бұл тиімді араласу үшін ерте анықтау өте маңызды [4]. COPD-ны ерте кезеңдерінде анықтау, әсіресе жастар мен темекі шегушілер арасында аурудың неғұрлым ауыр сатыларына өтуінің алдын алуға көмектеседі, осылайша аурушаңдық пен өлімді азайтады [5], [6]. Компьютерлік томография (КТ) сияқты жетілдірілген диагностикалық құралдар өкпедегі ерте патофизиологиялық өзгерістерді анықтауда маңызды рөл атқарады, тіпті спирометрияда ауа ағынының айтарлықтай шектелуі анық болғанға дейін [5], [7]. КТ ерте COPD-ның маңызды маркерлері болып табылатын эмфиземаны және тыныс алу жолдарының ауытқуларын анықтай алады, қауіп тобындағы адамдарды анықтауға көмектеседі [7]. Сонымен қатар, жаңа диагностикалық құралдарды әзірлеу, мысалы, бес тармақтан тұратын COPD алғашқы медициналық көмекті бағалау сауалнамасы экспираторлық ағынның шыңын өлшеумен біріктірілген, жақсы сезімталдығы мен ерекшелігі бар диагноз қойылмаған жағдайларды анықтауға уәде береді [7]. Ерте COPD емдеу хаттамалары аурудың дамуын болдырмауға және клиникалық нашарлауды басқаруға бағытталған. Оларға темекі шегуді тоқтату, фармакотерапия және қауіп факторларын азайтуға және өкпе қызметін жақсартуға бағытталған өмір салтын өзгерту кіреді [6]. Ерте COPD-ны анықтау мен диагностикалаудағы қиындықтарға қарамастан, көп өлшемді диагностикалық тәсілдер мен нейтрофильді протеиназалар сияқты жаңа биомаркерлерді қолдану осы ауруды түсінуді және емдеуді жақсартуы мүмкін [5], [8]. Сайып келгенде, ерте диагностика және араласу COPD-ның табиғи тарихын өзгерту, өмір сапасын жақсарту және асқынған аурумен байланысты денсаулық сақтау шығындарын азайту үшін қажет [8].

Зерттеу әдістері

Машиналық оқыту — бұл компьютерлерге тікелей бағдарлама жазбай-ақ, әртүрлі кіріс деректерінде кездесетін заңдылықтарды анықтай отырып, тапсырмаларды орындауды үйретуге мүмкіндік беретін математикалық, статистикалық және есептеу әдістерінің кешені. Мұнда басты назар, мәселені дәстүрлі тәсілдермен шешудің орнына, деректердегі үлгілерді табуға бағытталады. Осылайша, машина қолда бар мәліметтер негізінде белгілі бір үрдістерді үйреніп, болашақ деректер бойынша болжамдар жасай алады[9]. Машиналық оқыту алгоритмдерінің қарапайым сұлбасы 1-суретте көрсетілген.

1-сурет. Машиналық оқыту алгоритмдерінің жалпы схемасы

Нейрондық желілер бүгінгі таңда медицинада кескіндермен жұмыс істеу саласында кеңінен қолданыс тапты. Медициналық мекемелердің қызметі көбінесе рентгенография, компьютерлік томография (КТ) және сандық гистологиялық зерттеулер сияқты бейнелерді жинау, өңдеу және талдау процестеріне тікелей байланысты. Бұл бейнелермен жұмыс істеуге арналған жасанды интеллекттің бағыты Computer Vision, яғни компьютерлік көру деп аталады. Бұл сала патологияларды диагностикалау мен скрининг жүргізуде ең перспективалы бағыттардың бірі болып табылады.

Терең машиналық оқыту әдістерінің дамуы рентген және КТ кескіндерін тану бойынша зерттеулердің айтарлықтай ілгерілеуіне мүмкіндік берді. Осындай зерттеулердің нәтижесінде медициналық бейнелерді танудағы өзекті мәселелер анықталды, соның ішінде:

- Шешілетін міндеттер топтамасы: тыныс алу жүйесі ауруларының визуалды белгілерін анықтау, кеуде қуысының рентген және КТ кескіндерін өңдеу мен талдау, радиографиялық кескіндерді автоматты түрде жіктеу, сондай-ақ бейнелердегі медициналық объектілерді танудың дәлдігін арттыру үшін кескіндерді алдын ала өңдеу;
- Қолданылатын модельдер мен әдістер: өкпенің мөлдірлігін төмендету белгілерін анықтау үшін алгоритмдер, конволюциялық нейрондық желілер негізінде жасалған өкпе аймағын анықтау әдістері, 3D конволюциялық желілерге негізделген түйіндер мен зақымдану ошақтарын тану әдістері.

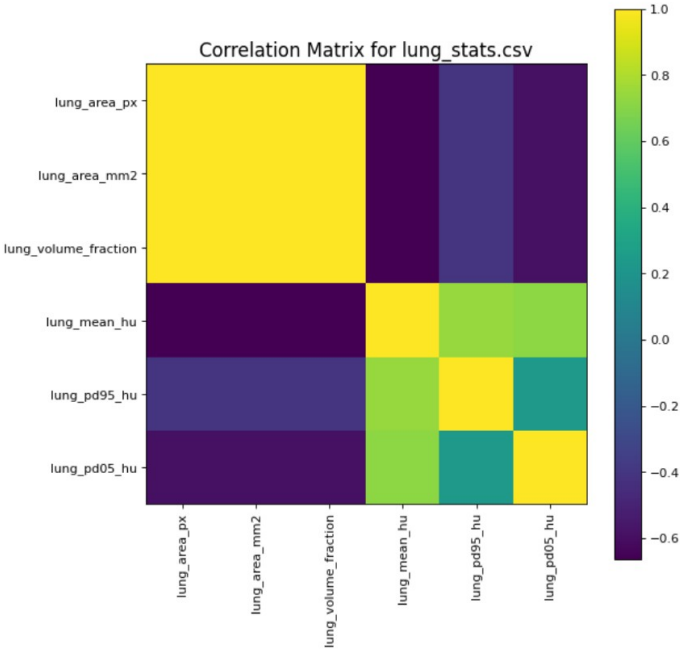
Қазіргі уақытта компьютерлік көру технологиялары медициналық зерттеулерде ғана емес, сонымен қатар клиникалық практикада да белсенді түрде енгізілуде. Мысалы, конволюциялық нейрондық желілерді пайдалана отырып, тері қатерлі ісігін ерте сатысында анықтауға мүмкіндік беретін жүйелер әзірленуде. Бұл тек медициналық диагностика сапасын жақсартуға ғана емес, сонымен қатар емделушілерге емдеу процесін неғұрлым ерте бастауға мүмкіндік береді. Мұндай технологиялар алдағы уақытта медицинада диагностикалық процестердің тиімділігін айтарлықтай арттырып, дәрігерлердің жұмысын жеңілдетеді деп күтілуде.

COPD белгілерінің машиналық диагностикасы үшін өкпенің КТ кескінін өңдеу жүйесі моделін құру барысында қолданылған деректер қорының ашылу сипаты 2-суретте көрсетілген. Деректер қоры kaggle.com сайтынан алынды. Деректер қорында 267 жол және 7 баған бар.

	img_id	lung_area_px	lung_area_mm2	lung_volume_fraction	lung_mean_hu	lung_pd95_hu	lung_pd05_hu
0	ID_0000_Z_0142.tif	57342	40318.593750	0.218742	-644.750671	-368.00	-798.0
1	ID_0001_Z_0146.tif	95955	67468.359375	0.366039	-720.042978	-544.00	-847.0
2	ID_0002_Z_0162.tif	60782	42737.343750	0.231865	-616.722632	-294.00	-777.0
3	ID_0003_Z_0132.tif	52852	37161.562500	0.201614	-664.036441	-267.55	-851.0
4	ID_0004_Z_0066.tif	81260	57135.937500	0.309982	-675.347969	-295.00	-842.0

2-сурет. Мәліметтер қоры

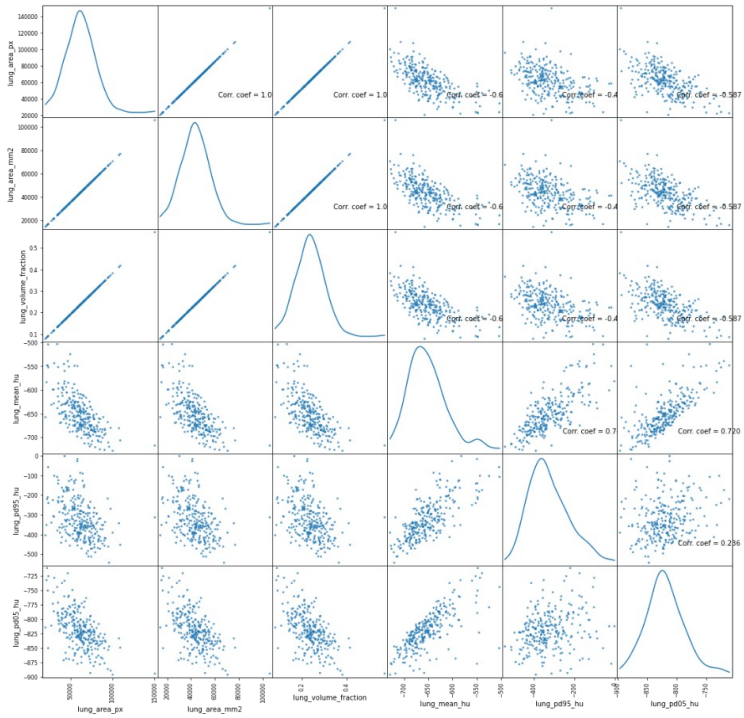
Корреляция екі немесе одан да көп айнымалылар арасындағы өзара байланыстың деңгейін сипаттайтын статистикалық көрсеткіші болғандықтан зерттеу барысында қарастырылды. Ол бір айнымалының өзгерісі екінші айнымалының өзгерісіне қалай әсер ететінін анықтауға мүмкіндік береді. Корреляция коэффициенті -1-ден +1-ге дейінгі аралықта болады: +1 толық оң байланысты, ал -1 толық теріс байланысты білдіреді. Нөлге жақын мәндер екі айнымалы арасында елеулі байланыстың жоқтығын көрсетеді. Алайда, корреляция айнымалылар арасындағы себеп-салдарлық байланысты анықтай алмайды, яғни екі айнымалы арасында байланыс болғанымен, бұл біреуінің екіншісінің тікелей себебі екенін білдірмейді.. Мәліметтер қорына негізделіп жасалған корреляциялық матрица 3-суретте көрсетілген.



3-сурет. Корреляциялық матрицасы

Шашырау матрицасының бұл түрі тиімді, себебі ол бір уақытта деректер жиынындағы бірнеше айнымалылар арасындағы байланысты визуализациялауға мүмкіндік береді [10].

Pandas деректер фреймінен шашырау матрицасын жасау үшін scatter_matrix() функциясын пайдалануға болады (4-сурет).



4-сурет. Шашырау матрицасы

Осы жұмыста өкпенің КТ-суреттерін өңдеу үшін қолданылған кітапханалар мен пакеттер:

- Numpy –барлық дерлік математикалық есептеулер үшін пайдаланылатын Python кітапханасы.
- Pandas – деректерді талдауға арналған жоғары деңгейлі Python кітапханасы.
- Matplotlib - танымал Python деректер визуализация кітапханасы.
- U-Net – кескінді сегменттеу үшін (бастапқыда биомедициналық кескіндер үшін) арналған конволюционды нейрондық желі архитектурасы.
- Nilearn - NeuroImaging деректерін статистикалық зерттеуге арналған қолдануға ыңғайлы Python модулі.

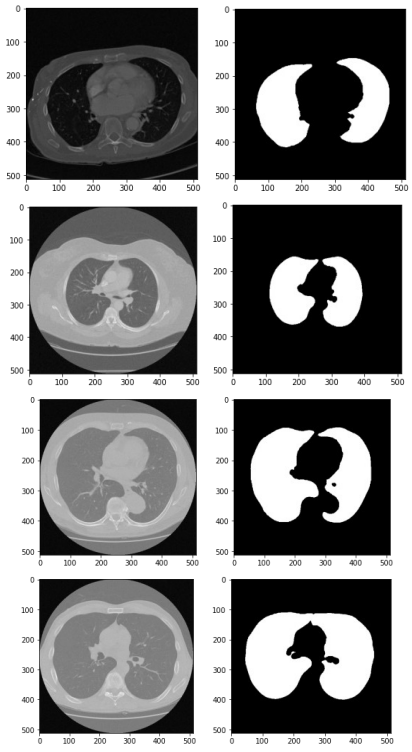
TensorFlow - Google Brain командасы өнімі, көптеген Deep Learning үлгілері мен алгоритмдерін біріктіретін ашық түрде қолжетімді бастапқы Python машиналық оқыту жүйесі.

Нейрондық желі сегментациясын қолдану арқылы суреттерден COPD ақауларын болжауда қолданылатын кітапханалар 4-суретте көрсетілген. Қолданылған кітапханалар бойынша мәліметтерді сипаттамасы 5-суретте келтірілген.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import skimage, os
import matplotlib.pyplot as plt
from glob import glob
from skimage.io import imread
!pip install opencv-python
import cv2
import numpy as np
import torch
import torchvision
from torchvision.transforms import ToTensor
import matplotlib.pyplot as plt
import torch
from torch import nn
from torch.nn import functional as F
from torch.utils.data import DataLoader
from torch.utils.data import random_split
from torchvision.datasets import MNIST
from torchvision import transforms
import pytorch_lightning as pl
import segmentation_models_pytorch as smp
from skimage.morphology import ball, disk, dilation, binary_erosion, remove_small_objects, erosion, closing, reconstruction, binary_closing
from skimage.measure import label,regionprops, perimeter
from skimage.morphology import binary_dilation, binary_opening
from skimage.filters import roberts, sobel
from skimage import measure, feature
from skimage.segmentation import clear_border, mark_boundaries
from skimage import data
from scipy import ndimage as ndi
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d.art3d import Poly3DCollection
import scipy.misc
```

5-сурет. Қолданылатын кітапханалар

Қолданылған кітапханалар бойынша мәліметтерді оқыту процесі жүзеге асады [11]. Нейрондық желі сегментацияны қолдану арқылы суреттерден COPD ақауларын болжау жүзеге асырылды. Бұл құрал екі өлшемді (жазық) және үш өлшемді графиктерді жасауға мүмкіндік береді. 6-суретте Matplotlib кітапханасын пайдаланып жасалған графиктің үлгісі көрсетілген.

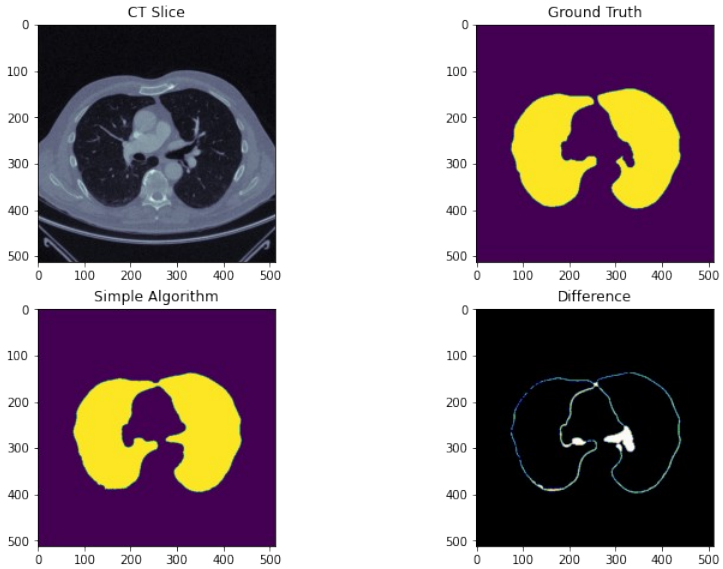


6-сурет. Оқыту деректер жинағы

Оқыту нәтижелері негізінде алынған CT Slice, Ground Truth, Simple Algorithm және Difference [12] көрсеткіштері 7-суретте бейнеленген. «Ground Truth» статистика мен машиналық оқытуда жиі қолданылатын термин. Ол белгілі бір мәселеге немесе сұраққа

дұрыс немесе «шын» жауапты білдіреді. Бұл модель нәтижелерін салыстыру және бағалау үшін пайдаланылуы мүмкін «алтын стандарт».

Мысалы, кескінді жіктеу жүйесінде алгоритм әрбір кескінді сыныптар жинағына жіктеуді үйренеді. Алгоритм әрбір нысанның шын сыныбын көрсететін негізгі ақиқат белгілері бар оқу деректерін пайдаланып жаттықтырады. Модель дайын болғанда, ол көрінбейтін кескіндерге қолданылады.



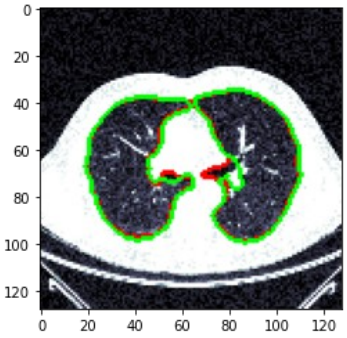
7-сурет. CT Slice, Ground Truth, Simple Algorithm және Difference көрсеткіштері

recall, precision, accuracy функциялары шатастыру матрицасының екі немесе үш комбинациясын пайдаланады және жіктеу нәтижелерін объективті бағалауды қамтамасыз етпейді. Ал F1 метрикасы қателік матрицасының барлық элементтерін пайдаланады және теңдестірілмеген деректермен жіктеуіш нәтижелерін бағалайды. Төменде осы көрсеткіштерді табуға арналған формулалар берілген:

- recall көрсеткіші шынайы оң мәндер арқылы анықталады, бірақ жалған оң мәндердің (FP) орнына теріс, бірақ нақты оң (FN) ретінде жіктелген нысандардың санын санайды. Бұл бағалау метрикасы белгілі бір сыныпты анықтау мүмкіндігін көрсетеді және жіктеу нәтижесінде қанша оң мысалдар жоғалғанын көрсетеді. Қайта шақыру метрикасының мәні неғұрлым жоғары болса, дұрыс болжамдарды жоғалту мәні соғұрлым төмен болады.
- precision берілген классты барлық басқа кластардан ажырату мүмкіндігіне жауап береді, бірақ еске түсіруден айырмашылығы, ол тек оң нәтижелерге байланысты, яғни дәлдік шынайы оң нәтижелер (TP) мен барлық оң жіктелген объектілер (TP және FP).
- accuracy дұрыс жіктеулердің үлесін есептейді және қателік матрицасының барлық комбинацияларының қосындысына барлық шынайы нәтижелердің қатынасы.
- F1-өлшемі — бұл дәлдік (precision) пен еске түсіру (recall) көрсеткіштерін бір көрсеткішке біріктіретін метрика. Ол дәлдік пен еске түсірудің оңтайлы теңгерімін табу қажет болған жағдайларда қолданылады, әсіресе екі көрсеткіштің максималды мәндеріне бір уақытта қол жеткізу мүмкін болмаған кезде маңызды.

Метрикалар арқылы precision, recall, f1-score және support мәндеріндегі дәлдікті анықтау 8-суретте көрсетілген.

	precision	recall	f1-score	support
False	0.99	0.99	0.99	204802
True	0.96	0.96	0.96	57342
accuracy			0.98	262144
macro avg	0.98	0.97	0.97	262144
weighted avg	0.98	0.98	0.98	262144

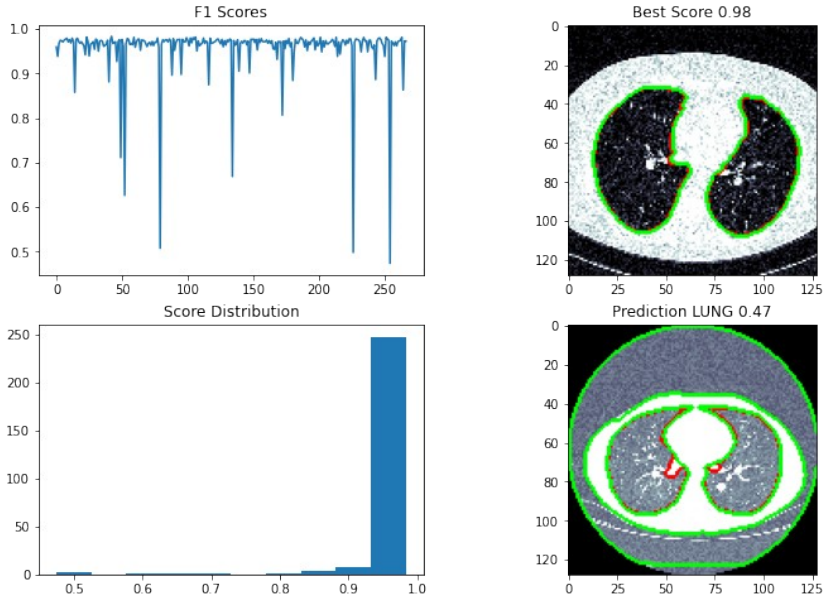


8-сурет. Метрикалар көмегімен анықталатын дәлдік

Нәтижесі және нәтижені талқылау

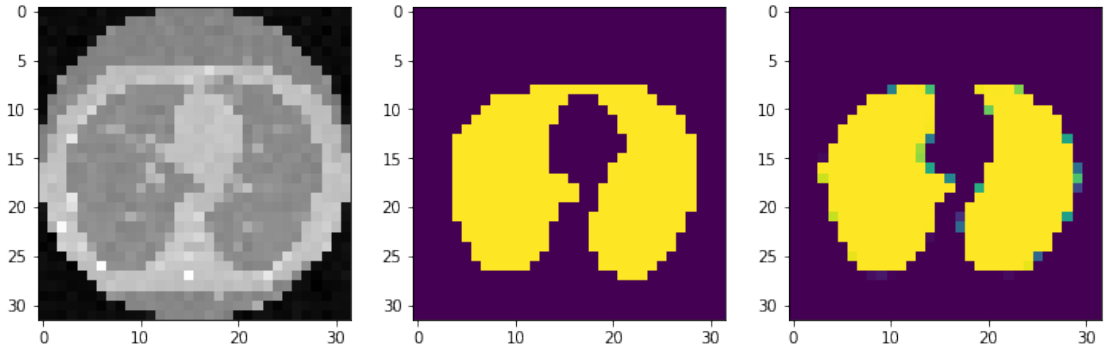
Бұл мақалада біз өкпе құрылымын сегменттеу үшін CT Slice, Ground Truth, Simple Algorithm, Difference алгоитмдерін және белсенді адаптивті круиз моделін (ACM) қолдандық. Өкпенің созылмалы ауру белгілерін анықтау үшін уақытша және спектрлік сипаттамалары, ssp радарына негізделген деректер жиынтығы пайдаланылды. Кеңістіктіктегі өзара тәуелділік матрицасы (SIM) үш атрибут тұрғысынан өкпенің кескін құрылымдары туралы ақпаратты синтездейді. Біз, сау және ауруға шалынған екі түрлі өкпе кескіндерін ажырату үшін осы атрибуттар жиынтығында жіктеу экспериментін жүргіземіз. 3-суретте COPD белгілері негізінде корреляциялық матрица тұрғызылды, оның нәтижесінде (-0.6 мен 1.0 аралығында) көріп отырғанымыздай сары түспен көрсетілген бөлімінде ауруға шалынған өкпе кескіндері анықталды. Ал, 4-суретте COPD белгілерінің қандай тұстарында ақаулар бар екені шашыраңқы матрицада көрсетілген. Одан кейінгі кезеңде, Matplotlib көмегімен біз ұсынған өкпе кескіндерінің дескрипторлық қуатын анықтаймыз. Экстремалды оқыту машиналарының (ELMNN) көмегімен өкпенің әр жағдайдағы күйін анықтау мақсатында жасырын қабатта 4-10 нейронды, шығыс қабатында 3 нейронды қамтитын нейрондық жүйе жасалды. Бұл, нейронды желі ұстап қалу процедурасын қолдану арқылы оқытылды және тексерістен өтті. Содан кейін, сәтті оқытылған модельдер сынақ деректерінде тексеріледі. Барлық қолданылатын нейрондық жүйелер машиналық оқыту және терең оқыту модельдерін жақсы нәтижеге қол жеткізу үшін оңтайландырылған. Рекурсивті конфигурациялау процесі жоғары өнімділікті қамтамасыз ететін әр модельдің ең жақсы гиперпараметрлерін табу үшін қолданылады. CT Slice, Ground Truth, Simple Algorithm және Difference алгоритмдерін пайдалану кезінде біз машиналық оқыту моделінің CT Slice және Ground Truth(болжамның%) болжамдарына қарағанда Simple Algorithm болжауы жоғары дәлдікке ие екенін анықтадық.Тыныс алу жолдарының үлгісін пайдаланған кезде біз CT Slice және Simple Algorithm (болжамның%) болжамына қарағанда машиналық оқыту үлгісінің Ground Truth болжауында жоғары дәлдікке ие екенін анықтадық. Алынған мәліметтерде метрикалар қолдану арқылы ең жақсы жіктеу дәлдігіне, AUC көрсеткішіне ие болды. Метрикаларға ең дұрыс таңдалған шекті немесе шекті (жұмыс нүктесі) беріледі.

Өкпенің созылмалы обструктивті ауруы белгілерін машиналық әдіспен диагностикалау мақсатында өкпенің КТ кескіндерін автоматты түрде өңдеу нәтижелері, соның ішінде F1 ұпайлары, ұпайлардың таралуы, ең жақсы ұпай және LUNG болжамы 9-суретте бейнеленген.



9-сурет. Өкпе нәтижелері

COPD белгілерінің машиналық диагностикасы үшін өкпенің КТ кескінін өңдеу жүйесін жасау [13] кезіндегі соңғы шыққан нәтиже 10-суретте көрсетілген.



10-сурет. Нәтижелері

Пациенттердің 92,9% -ның тыныс алу жолдары LUNG болжамымен дәл сегменттелген. Фильтрацияға қойылған талаптарымыз салыстырмалы түрде қатаң болды және ACM моделінде сәтті алынған 3-4 дәрежелі тыныс алу сегментациясының нәтижелері енгізілді.

Біздің зерттеу жұмысымыздың нәтижесінде SIM дескрипторларын, CT Slice, Ground Truth, Simple Algorithm алгоритмдерін жоғары сезімталдық пен ерекшелік критерийлері бойынша КТ кескіндеріндегі өкпе ауруларын ажырату үшін пайдалануға болатынын көрсетеді. Машиналық оқыту және терең оқыту үлгілері нәтижелеріне талдау жасалынды. Деректерді талдау барысында қолданған алгоритм көрсеткіші негізінде көптеген диаграмма мен графиктер алынды. Қолданбалы модельдерді бағалау үшін өнімділік көрсеткіштері қолданылды. Машиналық оқыту мен терең оқыту модельдерінің салыстырмалы нәтижелері де талданды. Сондай-ақ, басқа зерттеулер арқылы озық Әдістеменің өнімділігі тексерілді.

Сонымен қатар, ұсынылған әдістеме өкпе ауруларын бақылау үшін КТ скрининг құралы ретінде пайдаланылуға және өкпенің диагностикасы мен мониторингін жеңілдету үшін көмекші құрал бола алады. Рентген және КТ кескіндерін тану, патологиясы бар кескіндерді анықтау терең машиналық оқыту үшін маңызды міндеттерінің бірі болып табылатыны анықталды.

Қорытынды

Бронхо-өкпе патологиясының зерттелген түрлерінде (пневмокониоз, кәсіптік бронхит, кәсіптік COPD) жүргізілген жоғары ажыратымдылықтағы компьютерлік томография өндірістік фиброгенді аэрозольдер әсерінен жұқа құрылымдық және паренхималық өзгерістерді анықтауда диагностикалық мүмкіндіктерді кеңейтуге, негізгі аурудың ерте диагностикасын тексеруге мүмкіндік береді [14].

1. Диагностика кезінде өкпе аурулары егжей-тегжейлі клиникалық көрініске ие, асқынулардың дамуымен: тыныс алу жеткіліксіздігі, созылмалы пульмонал, эмфизема. Бұл ауруханаға дейінгі кезеңде осы топтағы аурулардың кеш диагнозын көрсетеді.

2. Өкпенің мультиспиральды компьютерлендірілген зерттеуі - интерстициальды респираторлық ауруларды диагностикалаудың жоғары ақпараттық әдісі, оның ішінде пневмокониоз (түйіндік өзгерістерді анықтау рентгендік әдіспен салыстырғанда 2,5 есе өсті).

3. Өкпенің компьютерлік зерттеуі өкпедегі патологиялық процестердің сипатын, дәрежесін және таралуын нақтылауға және оның дамуының ерте кезеңдерінде аурудың негізгі диагнозын тексеруге, негізгі диагноздың асқынуын анықтауға мүмкіндік береді (есептелген Томографияда 74% жағдайда өкпе эмфиземасының белгілері анықталды, ал рентгенографияда барлығында 6%.

4. COPD белгілерінің машиналық диагностикасы үшін өкпенің КТ кескінін өңдеу жүйесі жасалынды.

Алғыс

Зерттеу Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің № BR24992814 «Оңтүстік Қазақстан өңірін тұрақты дамыту үшін инновациялық технологияларды әзірлеу және заманауи инфрақұрылым құру» гранты бойынша қаржыландырылды (2024-2026 жж.).

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Moslemi, Amir (2024). Quantitative Computed Tomography Imaging and Machine Learning for Evaluating Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Toronto Metropolitan University. Thesis. https://doi.org/10.32920/26052826.v1.

2. Pamarapa, C., Kemlek, S., Sukumwattana, W. ., Sitthikul, P. ., Khuanrubsuan, S. ., Chaikhampa, A. ., Wongtrakool, P. ., Chuajak, A. ., Phonlakrai, M. ., & Keerativittayayut, R. (2024). AI-based diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease from low-dose CT images. Journal of Associated Medical Sciences, 57(2), 149–156. Retrieved from https://he01.tci-thaijo.org/index.php/bulletinAMS/article/view/267267

3. https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd)

4. Sin DD. The Importance of Early Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Lecture from 2022 Asian Pacific Society of Respirology. Tuberc Respir Dis (Seoul). 2023 Apr;86(2):71-81. doi: 10.4046/trd.2023.0005. Epub 2023 Mar 28. PMID: 37005090; PMCID: PMC10073605.

5. Yip KP, Stockley RA, Sapey E. Catching "Early" COPD - The Diagnostic Conundrum. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis. 2021 Apr 13;16:957-968. doi: 10.2147/COPD.S296842. PMID: 33880020; PMCID: PMC8053524.

6. Choi JY, Rhee CK. Diagnosis and Treatment of Early Chronic Obstructive Lung Disease (COPD). J Clin Med. 2020 Oct 26;9(11):3426. doi: 10.3390/jcm9113426. PMID: 33114502; PMCID: PMC7692717.

7. Labaki WW, Han MK. Improving Detection of Early Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Ann Am Thorac Soc. 2018 Dec;15(Suppl 4):S243-S248. doi: 10.1513/AnnalsATS.201808-529MG. PMID: 30759006; PMCID: PMC6322002.

8. Laucho-Contreras ME, Cohen-Todd M. Early diagnosis of COPD: myth or a true perspective. Eur Respir Rev. 2020 Dec 2;29(158):200131. doi: 10.1183/16000617.0131-2020. PMID: 33268437; PMCID: PMC9489086.
9. Sarı G, Gökçek A, Koyuncu A, Şimşek C. Computed Tomography Findings in Progressive Massive Fibrosis: Analyses of 90 Cases. Med Lav. 2022 Feb 22;113(1):e2022002. doi: 10.23749/mdl.v113i1.12303. PMID: 35226653; PMCID: PMC8902743.
10. Bousquet J, Toumi M, Sousa-Pinto B, Anto JM, Bedbrook A, Czarlewski W, Valiulis A, Ansotegui IJ, Bosnic-Anticevich S, Brussino L, Canonica GW, Cecchi L, Cherrez-Ojeda I, Chivato T, Costa EM, Cruz AA, Del Giacco S, Fonseca JA, Gemicioglu B, Haahtela T, Ivancevich JC, Jutel M, Kaidashev I, Klimek L, Kvedariene V, Kuna P, Larenas-Linnemann DE, Lipworth B, Morais-Almeida M, Mullol J, Papadopoulos NG, Patella V, Pham-Thi N, Regateiro FS, Rouadi PW, Samolinski B, Sheikh A, Taborda-Barata L, Ventura MT, Yorgancioglu A, Zidarn M, Zuberbier T. The Allergic Rhinitis and Its Impact on Asthma (ARIA) Approach of Value-Added Medicines: As-Needed Treatment in Allergic Rhinitis. J Allergy Clin Immunol Pract. 2022 Nov;10(11):2878-2888. doi: 10.1016/j.jaip.2022.07.020. Epub 2022 Aug 4. PMID: 35934308.
11. Ouaalaya EH, Falque L, Dupis JM, Sabatini M, Bernady A, Nguyen L, Ozier A, Nocent-Ejnaini C, Le Guillou F, Molimard M, Zysman M, Raherison-Semjen C. Susceptibility to frequent exacerbation in COPD patients: Impact of the exacerbations history, vaccinations and comorbidities? Respir Med. 2020 Aug;169:106018. doi: 10.1016/j.rmed.2020.106018. Epub 2020 May 11. PMID: 32442114.
12. S.Haykin. Neural Networks and Learning Machines. 3rd Edition. Pearson, 2018.
13. Jelassi, Samy and Yuanzhi Li. “Towards understanding how momentum improves generalization in deep learning.” International Conference on Machine Learning (2022).
14. I.Goodfellow, Y.Bengio, A.Courville. Deep Learning. MIT Press, 2016. http://www.deeplearningbook.org/

Сарсембаева Талшын Сағдатбекқызы – аға оқытушы. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: sarsembayeva.talshyn@gmail.com

Мансурова Мадина Есимхановна – профессор. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail:; mansurova.madina@gmail.com

Есенгалиева Назым Сағдатбекқызы – гинеколог дәрігер. «Шығыс Қазақстан облыстық мамандандырылған медициналық орталығы» ШЖҚ КМК, 070004, Өскемен;

Кошанова Айым Канагатовна – магистрант. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: aiymkoshanova2002@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

А.Н. Кулмагамбетов, Н. Тасболатұлы
Международный университет Астана, Казахстан
E-mail: nurbolat.tasbolatuly@aiu.edu.kz

***Аннотация**. В статье представлена архитектура и программная реализация сервиса для сбора данных и прогнозирования трудоустройства студентов с использованием полносвязной нейронной сети. Сервис разработан на примере выпускников Международного Университета Астана и реализован в виде веб-приложения, которое собирает, хранит и анализирует данные об успеваемости, внеучебной активности и трудоустройстве. Модель нейронной сети прогнозирует ключевые параметры трудоустройства, такие как уровень заработной платы, время поиска работы и степень загруженности на рабочем месте, основываясь на анкетных данных студентов. Входные параметры включают демографические данные, результаты успеваемости и участие в дополнительных активностях, что позволяет учитывать комплексное влияние различных факторов на трудоустройство. Сервис может использоваться как для студентов, планирующих свою карьеру, так и для вузов, которые могут на основе полученных данных оптимизировать образовательные программы. В статье описаны структура сайта, архитектура нейронной сети и особенности программной реализации.*

***Ключевые слова:** прогнозирование трудоустройства, выпускники, нейронная сеть, сбор данных, успеваемость.*

Введение. Современный этап развития вычислительной техники обеспечил активное внедрение систем интеллектуальной обработки данных, в частности искусственных нейронных сетей, в различные области деятельности. Модели на основе нейронных сетей могут применяться при оценке экономических процессов, распознавании образов, анализе текста, прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур [1]. Стоит отметить, что в ряде работ подробно рассматриваются и вопросы прогнозирования распределения трудовых ресурсов, в том числе и трудоустройство выпускников вузов. При этом у подобных моделей прогнозирования остаются проблемы, связанные с фрагментарностью обучающей выборки [2]. В частности, для учета особенностей распределения трудовых ресурсов в конкретном регионе необходимо организовать сбор данных для обучения нейросети внутри региона. Отдельно стоит отметить, что большинство представленных решений используют оцифрованные данные, хранящиеся в системе учета успеваемости вуза, хотя не менее важным источником может стать непосредственный опрос студентов.

Целью данного исследования является разработка алгоритмов и программная реализация системы прогнозирования трудоустройства выпускников вузов на примере Международного Университета Астана. Для этого необходимо обеспечить систему сбора данных, разработать подходящую модель нейронной сети и выполнить процесс ее обучения. Подобный сервис имеет значение не только как система оценки возможностей по трудоустройству для выпускников, но и как метод поиска неявных закономерностей между условиями обучения и трудоустройством студента.

Для эффективного функционирования сервиса прогнозирования трудоустройства студентов требуется реализовать процесс сбора данных и обучение прогнозной модели. На первом этапе работы необходимо собрать информацию о трудоустроенных выпускниках

вузов. Эти данные поступают на сервер, где проходят обработку и сохраняются для последующего использования в качестве обучающей выборки для нейронной сети.

С накоплением достаточного объема данных, сервис сможет генерировать прогнозы о трудоустройстве студентов. Пользователь (студент или выпускник) отправляет анкету на сервер, который на основе собранной информации строит персонализированный прогноз и возвращает его в ответном сообщении. Данные, поступающие с анкет, также сохраняются в базе для дальнейшего анализа. На рисунке 1 показана общая архитектура работы сервиса.

Рисунок 1 - Структура системы для прогнозирования трудоустройства студентов

Наиболее целесообразным решением для реализации такого сервиса является создание веб-сайта, который обеспечивает онлайн-сбор данных и возможность получения прогнозов. На главной странице сайта пользователь может выбрать один из двух вариантов: заполнить анкету для выпускников или пройти опрос для прогнозирования своего трудоустройства. После отправки анкеты, прогноз в формате html-страницы генерируется на сервере. Процесс прохождения опроса и получения результата не требует регистрации, что позволяет обеспечить анонимность данных и минимизировать время взаимодействия с сайтом. Помимо интерфейса для пользователей, сайт включает административный доступ, где администратор может просматривать статистику и выгружать собранные данные для анализа.

Ключевым этапом в разработке системы является подбор набора входных и выходных параметров для обучения нейронной сети. Вопросы анкеты разделены на три группы: демографические данные студента, информация об успеваемости, а также данные об учебной и внеучебной активности. Прогнозируемые параметры включают наличие работы, время поиска, уровень заработной платы и загруженность. Таким образом, структура опросника разработана с учётом возможных скрытых закономерностей, которые нейронная сеть может выявить в ходе обучения.

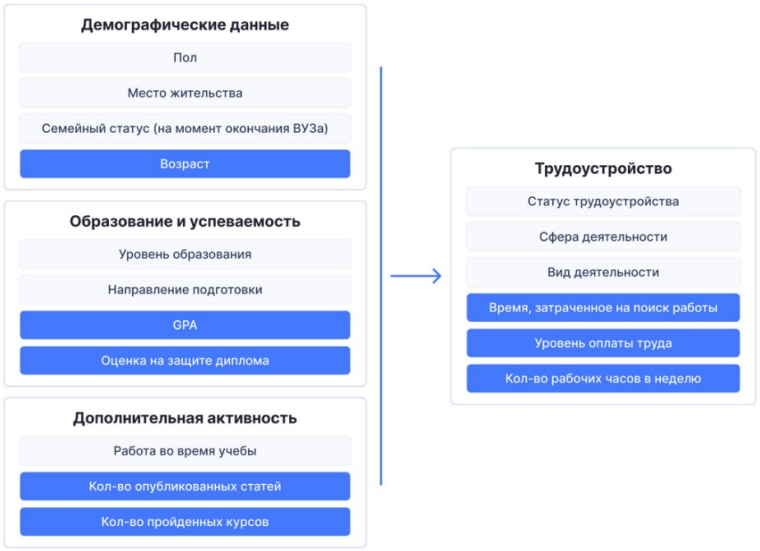


Рисунок 2 - Схема анкеты трудоустройства студентов

Поскольку данные собираются напрямую посредством анкетирования выпускников, количество вопросов было сокращено до минимума. Успеваемость студентов оценивалась не по каждому предмету в отдельности, а по категориям, что позволило упростить анкету. На схеме (рис. 2) серым цветом выделены вопросы с выбором одного варианта из предложенных, а синим — вопросы, требующие числового ответа.

Для прогнозирования использовалась полносвязная нейронная сеть [3], архитектура которой представлена на рисунке 4. Входной поток данных включает 11 параметров, которые сначала проходят через слой нормализации для приведения значений к диапазону от 0 до 1. Затем данные передаются на первый слой сети, состоящий из 11 нейронов (по числу входных параметров) с функцией активации ReLu (где $f(x) = max(0, x)$).

Основные входные данные модели представляют собой вектор параметров, включающих такие показатели, как возраст студента, его успеваемость (GPA), участие во внеучебной активности и другие параметры, влияющие на прогноз трудоустройства. Эти входные данные передаются через несколько слоев нейронной сети, каждый из которых преобразует их с помощью весов и смещений. На каждом слое применяется линейная комбинация [4], выражаемая формулой

$$Z^{(i)} = W^{(i)} X^{(i)} + b^{(i)}$$

где:

$Z^{(i)}$ – линейная комбинация на выходе слоя *i*,

$W^{(i)}$ – матрица весов для слоя *i*,

$b^{(i)}$ – вектор смещений слоя *i*,

$X^{(i)}$ – входные данные на слое *i*.

После линейного преобразования к результатам применяется функция активации. В рамках данной модели используется функция ReLU (Rectified Linear Unit), определяемая как $f(x) = max(0, x)$ [5]. Она позволяет нейронной сети обучаться на нелинейных взаимосвязях в данных, устраняя отрицательные значения и оставляя только положительные. Применение ReLU ко всем нейронам на каждом слое приводит к тому, что выходной вектор каждого слоя представляет собой преобразованные данные с учётом нелинейностей.

Нейронная сеть построена по принципу полносвязной архитектуры. Входной слой сети принимает вектор входных параметров, после чего данные проходят через три

скрытых слоя, каждый из которых содержит 20 нейронов. Эти скрытые слои позволяют модели обнаруживать сложные взаимосвязи между параметрами, используя комбинации линейных преобразований и функций активации [6]. В выходном слое, состоящем из четырёх нейронов, генерируются прогнозы по ключевым параметрам трудоустройства — статусу трудоустройства, времени поиска работы, уровню заработной платы и степени загруженности на работе. Для каждого слоя вычисления проходят через аналогичные операции, начиная с линейного преобразования и заканчивая функцией активации.

Ключевым элементом процесса обучения является функция потерь, которая измеряет различие между реальными и прогнозируемыми значениями. В данной модели используется среднеквадратичная ошибка (MSE) [7], описываемая формулой

$$L(Y,\hat{Y}) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}(Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

где:

Y – вектор истинных значений,

$\hat{Y}_i$ – вектор прогнозируемых значений,

m – количество примеров в выборке.

Среднеквадратичная ошибка используется для того, чтобы нейронная сеть могла минимизировать разницу между реальными данными и прогнозами.

Архитектура нейронной сети (рис. 3) включает несколько слоев, каждый из которых обучается на основе данных, проходящих через функции активации и оптимизируемых по метрике MSE. В результате сеть способна делать точные прогнозы о трудоустройстве студентов, включая такие параметры, как зарплата, время поиска работы и степень загруженности.

Рисунок 3 - Архитектурная схема нейронной сети для прогнозирования

Для разработки онлайн-сервисов одним из популярных фреймворков является Django – инструмент на Python, который предоставляет встроенные решения для большинства задач [8]. В отличие от Flask, требующего дополнительной настройки, Django предлагает комплексные механизмы для работы с базами данных, шаблонами, аутентификацией и HTTP-запросами. Серверная часть сервиса прогнозирования трудоустройства студентов реализована на Django благодаря его поддержке масштабируемых приложений и быстроте разработки через модульный подход. Встроенная ORM (Object-relational mapping) позволяет работать с разными СУБД, включая SQLite, PostgreSQL и MySQL. В данном случае используется SQLite для упрощения развертывания на начальных этапах. Клиентская часть сервиса разработана с помощью HTML, CSS и JavaScript для создания интерактивного интерфейса.

После отправки формы данные через POST-запрос обрабатываются и сохраняются в базу через ORM. База данных содержит три дополнительных поля: id (уникальный идентификатор), datetime (время заполнения) и survey_type (тип данных: 0 — выпускники, 1 — прогноз).

Представленные данные используются для обучения нейронной сети, задача которой — прогнозирование условий трудоустройства для текущих студентов и выпускников университета. В качестве библиотеки для работы с нейронными сетями была выбрана Keras на базе TensorFlow. Процесс обучения нейронной сети вызывается через функцию train(), в которой создается модель, определяются слои и параметры обучения. В качестве оптимизатора используется алгоритм Adam [9], функция потерь — среднеквадратичная ошибка, а метрикой выступает средняя ошибка.

После этого результаты опросов из базы данных загружаются в два тензора: один для входных параметров, другой для прогнозируемых данных. Прогнозируемыми являются такие параметры, как статус трудоустройства, сфера деятельности организации, вид деятельности сотрудника, время поиска работы, уровень оплаты труда, степень загруженности и общая оценка условий труда. Все остальные параметры анкеты используются в качестве входных данных для модели. Для обучения берутся только данные опросов, где survey_type == 0. Эти тензоры формируют обучающую выборку для модели, которая проходит через несколько эпох обучения. Для валидации используется 20% от выборки. По завершении обучения модель с наилучшими показателями точности сохраняется в файл для дальнейшего использования.

Прогнозирование данных вынесено в отдельную форму, которая представляет собой анкету для студентов (без блока вопросов, связанных с трудоустройством). Данные с этой формы также сохраняются в базе данных и затем передаются на вход обученной модели нейронной сети для прогнозирования. После этого модель генерирует прогноз, который используется для создания HTML-страницы с результатами для конкретного пользователя (рис. 6). Обработка запросов на прогнозирование осуществляется через функцию forecast(). Полученные прогнозы преобразуются к исходным единицам измерения и округляются до целых значений (кроме оценки условий труда). Это делает результаты более понятными для пользователей и к тому же улучшает визуальное представление данных на сайте.

Сервис предоставляет не только возможность прогнозирования трудоустройства конкретного студента, но и сбор и анализ статистики, полученной в результате анкетирования выпускников. Для обработки и анализа больших объемов данных используется библиотека pandas, которая позволяет загружать, обрабатывать, визуализировать и экспортировать данные [10]. В функции statistics() реализована загрузка данных из базы в таблицу pandas, что позволяет проводить их статистическую обработку.

В частности, для оценки распределения параметров выводится описание числовых данных, включающее следующие метрики: количество записей, среднее значение, стандартное отклонение, минимальные и максимальные значения, а также медиану. Эти данные отображаются на веб-странице статистики, что дает пользователям возможность получить полное представление о результатах анкетирования. Также на этой странице отображается таблица коэффициентов корреляции между различными параметрами, что позволяет оценить взаимосвязь факторов, влияющих на трудоустройство студентов. Корреляционный анализ помогает выявить, какие параметры, например, успеваемость или внеучебная активность, могут оказывать значительное влияние на успешность трудоустройства.

Для более детальной оценки влияния различных факторов на трудоустройство используется метод линейной регрессии. Для этого была применена модель LinearRegression из библиотеки sklearn. Линейная регрессия позволяет проще и нагляднее оценить такие параметры, как уровень заработной платы, время на поиск работы и рабочая

загруженность, исходя из числовых данных анкеты. Хотя этот метод не достигает такой точности, как искусственные нейронные сети, он имеет преимущество в том, что обеспечивает более прозрачное понимание взаимосвязей между параметрами и результатами прогнозирования.

Заключение

Разработанный сервис представляет собой комплексное решение для сбора, хранения и анализа данных о трудоустройстве выпускников, а также для прогнозирования карьерных перспектив студентов. Система использует обученную нейронную сеть для предсказания ключевых параметров: уровня заработной платы, времени поиска работы и рабочей загруженности на основе анкетных данных. В результате анализа анкет можно выявить значимые взаимосвязи между различными факторами, влияющими на трудоустройство, что открывает возможности для совершенствования модели. Использование библиотеки Keras и фреймворка Django позволило создать гибкую и масштабируемую систему, адаптируемую под различные задачи и увеличивающийся объем данных. Для повышения точности прогнозов планируется расширение базы данных за счет регулярных анкетирований выпускников, что позволит улучшить качество предсказаний и выявить скрытые закономерности, влияющие на карьерный успех.

Разработанный сервис становится полезным инструментом как для вузов, так и для студентов, предоставляя возможности прогнозирования трудоустройства и глубокого анализа факторов, влияющих на профессиональные перспективы выпускников.

Список использованных источников

1. Hewamalage, H., Bergmeir, C., & Bandara, K. (2021). Recurrent neural networks for time series forecasting: Current status and future directions. International Journal of Forecasting, 37(1), 388-427.
2. Brown, T. B. (2020). Language models are few-shot learners. arXiv preprint arXiv:2005.14165.
3. Li, S., Chen, H., Wang, M., Heidari, A. A., & Mirjalili, S. (2020). Slime mould algorithm: A new method for stochastic optimization. Future generation computer systems, 111, 300-323.
4. Summit, H. B. C. U., Platform, N. L., Polls, N. Q., Briefs, N. A. C. E., & Market, J. (2019). Predicting employment through machine learning. NACE Journal.
5. Shahriyar, J., Ahmad, J. B., Zakaria, N. H., & Su, G. E. (2022, December). Enhancing Prediction of Employability of Students: Automated Machine Learning Approach. In 2022 2nd International Conference on Intelligent Cybernetics Technology & Applications (ICICyTA) (pp. 87-92). IEEE.
6. Casuat, C. D., & Festijo, E. D. (2019, December). Predicting students' employability using machine learning approach. In 2019 IEEE 6th international conference on engineering technologies and applied sciences (ICETAS) (pp. 1-5). IEEE.
7. He, S., Li, X., & Chen, J. (2021, May). Application of data mining in predicting college graduates employment. In 2021 4th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD) (pp. 65-69). IEEE.
8. Chollet, F. (2021). Deep learning with Python. Simon and Schuster.
9. Yin, Y. (2023). Big Data Analysis and Modeling Method of College Student Employment Management Based on Deep Learning Model. International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT), 18(2), 1-15.
10. Wu, D. (2022). [Retracted] Prediction of Employment Index for College Students by Deep Neural Network. Mathematical Problems in Engineering, 2022(1), 3170454.

Кулмагамбетов Адильжан Нурболатович – магистрант, Международный университет Астана; adilzhan_kulmaganbet@gmail.com, 010000, Астана,

Тасболатұлы Нұрболат - PhD, и.о.ассоц.профессор, Международный университет Астана, nurbolat.tasbolatuly@gmail.com, 010000, Астана

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҰМЫСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Ф.С. Телгожаева[1], Г.А. Тюлепбердинова[1], М.М. Кунелбаев[2]
[1]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
[2]ҚР БҒМ ҚН Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Бұл мақалада ғимараттардың жылу энергиясын тұтынуды басқару үшін жасанды интеллект әзірлеу әдістемесі ұсынылған. Зерттеу мақсаты – ғимараттың жылу-энергетикалық жүйесін тиімді басқару арқылы энергия шығындарын азайту және жайлылық деңгейін арттыру. Ұсынылған тәсіл машиналық оқытуды пайдалана отырып, ғимараттың өзін-өзі оқытатын математикалық модельдерін жасауға негізделеді. Зерттеуде температура, ылғалдылық және энергия тұтыну деректері жинақталып, нақты алгоритмдер мен модельдер арқылы талданады. Бұл әдістеме жылу және кондиционер жүйелерінің жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік беріп, ғимараттың энергетикалық тиімділігін арттыруға септігін тигізеді.*

Кілттік сөздер: *интеллектуалды басқару, жылу алмасу, жасанды интеллект, математикалық модель, оңтайлы шешімдер.*

Кіріспе

Ауаны басқару жүйелерін автоматтандыру контекстінде бөлмені жылыту немесе салқындатуға жұмсалатын энергия шығынын оңтайландыру негізгі міндет болып табылады.

Цифрлық технологиялардың пайда болуы және қазіргі заманғы ауаны басқару және жылыту-желдету жүйелерінің күрделенуімен қарапайым басқару жеткіліксіз бола бастады. Бүгінде энергия тұтынуды оңтайлы басқаруға көшу өзекті, бұл шығындарды азайтуға және жүйелердің тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Математикалық жіктеу тұрғысынан алғанда, жылуэнергияны оңтайлы басқару міндеті – бұл оңтайлы басқару міндеттерінің класына жатады, оның шешімін тәжірибеде алғаш рет академик Л.С. Понтрягин мен оның шәкірттері әзірлеген. Белгілі стандартты реттегіштерді негізге алып автоматтан-дырылған жеке жылу пунк-тын (ЖЖП) басқару ерекшеліктерін зерттеу математикалық модельдеу арқылы жүзеге асы-рылған [1].

Оңтайлы автоматты басқарудың мәні тек басқарылатын нысанға әсер ететін сыртқы әсерлерді жоюда ғана емес, сонымен қатар ең жақсы, оңтайлы шешімді табуға ұмтылуда. Алайда, қазіргі техника мен технология деңгейі үшін ғимараттардың жылу энергиясын тұтынуды оңтайлы басқарудың математикалық шешімі жеткіліксіз болып қалады [2]. Себебі, жылу энергиясын оңтайлы тұтынуды есептеу үшін қолданылатын кез келген математикалық модель нақты нысанға тек жуықтау ғана болады.

Математикалық модельді нысанға сәйкестендіруді арттыру үшін басқару үшін жасанды интеллект қолдануға болады. Ғимараттардың жылу энергиясын тұтынуды басқару үшін жасанды интеллект жүйесін жасау ұсынылады, ол оңтайлы шешімдерге және өзін-өзі оқытатын математикалық модельдерге негізделген. Жүйе температура, ылғалдылық және энергия тұтыну деректерін жинақтап, талдау арқылы жылу және кондиционер жүйелерінің жұмысын тиімдірек ұйымдастыруға, энергия шығындарын азайтуға және ғимараттардың жайлылығын арттыруға мүмкіндік береді.

Нәтижесінде, ғимараттың энергетикалық тиімділігі мен экологиялық тұрақтылығы жоғарылайды [3]. Бұл жүйені іске асыру келесі кезеңдерді қамтиды:

1. Ғимараттың жылу режимін жалпы жылу энергия жүйесі ретінде математикалық модельдеу

Модель объект жылу балансының негізгі құрамдас бөліктерін мүмкіндігінше дәл көрсетуі керек. Мұнда үш түрлі модельді қолдануға болады: ғимараттың ішкі жылу режимінің таралған, жартылай таралған немесе шоғырланған параметрлері бар модельдер.

2. Алынған математикалық модельді іске асыру әдісін жасау

Модельді басқару жүйесіне айналдыру тәсілін анықтау қажет.

3. Математикалық модель параметрлерін анықтау

Бұл кезеңде ғимараттың нақты жұмыс жағдайында алынған кіріс және шығыс айнымалылар туралы деректер негізінде модельдің белгісіз немесе жуықтап берілген параметрлері анықталады.

4. Энергия шығынын оңтайлы басқару міндетін шешу

Жылыту немесе салқындату жүйесінің энергия тұтынуын минималдандыру үшін оңтайлы жұмыс режимін табу қажет.

5. Математикалық модельдің өзін-өзі оқыту жүйесін жасау

Бұл кезеңде басқару жүйесі жұмыс істеу процесінде алынған жаңа деректер негізінде математикалық модельді үнемі жақсартатын жасанды интеллект жасалады.

1. Зерттеу әдістемесі

Математикалық модель: Бөлмені жылыту немесе салқындатуға жұмсалатын энергия шығынын сипаттайтын модель бөлмедегі жылу алмасу ерекшеліктерін ескеруі керек. Бұл ерекшеліктерге байланысты таралған, жартылай таралған немесе шоғырланған параметрлері бар модельдерді қолдануға болады. Көптеген бөлмелер үшін (мысалы, кеңсе немесе тұрғын үйлер) қажетті дәлдікті қамтамасыз ететін шоғырланған параметрлері бар модельдерді қолдану жеткілікті.

Алайда, үлкен көлемді және күрделі геометриялы бөлмелер (мысалы, бассейндер) үшін жартылай таралған параметрлері бар модельді қолдану қажет.

Математикалық модель қазіргі уақытта энергия шығынын дәл есептеуге, сондай-ақ сыртқы климаттың параметрлерінің өзгеруін ескере отырып, энергия шығынының өзгеруін болжауға мүмкіндік беруі керек.

Бөлмеде берілген температуралық режимді сақтау үшін сыртқы жылу әсерлерін жоюға жұмсалатын энергия шығынын оңтайландыру міндеті оңтайлы басқару міндеті ретінде тұжырымдалады.

Мақсат – берілген бастапқы шарттар кезінде бөлмені жалпы энергетикалық жүйе ретінде қарастыра отырып, энергия шығынын Q(t) оңтайлы басқару және жылу балансы теңдеулері жүйесінің шешімін табу, осылайша функционал

$$W = \int_{t_0}^{t_1} Q(t)\,dt$$

мүмкін болатын ең кіші мәнге ие болады.

$T_{R.st}$ – бастапқы ($t = t_0$), ал $T_{R.end}$ – соңғы ($t = t_1$) ішкі ауа температурасының мәні болсын. $[t_0, t_1]$ кесіндісінде анықталған $Q(t)$ функциясын басқару деп атауға болады. $Q(t)$ басқаруы рұқсат етілген деп саналады, егер $Q(t)$ функциясы $[t_0, t_1]$ кесіндісінде бөліктеп үздіксіз және оның мәндері U жиынынан шықпайтын болса. Әрбір рұқсат етілген басқару шектеулі екендігі айқын.

Қойылған міндеттің шешімін беретін $Q(t)$ басқаруы оңтайлы басқару деп аталады, ол $T_{R.st}$ бастапқы температурадан $T_{R.end}$ соңғы температураға өтуге сәйкес келеді, ал объект температурасының $T_R(t)$ өзгеруінің сәйкес траекториясы оңтайлы траектория деп аталады.

Жылу энергиясын тұтынуды оңтайлы басқару келесі қорытындыларға әкелді:

Максималды жылдамдық принципі:

Бөлмені жылыту немесе салқындатуға жұмсалатын энергия шығынын ең аз уақыт ішінде бөлменің бастапқы температурасынан қажетті соңғы температураға ауысқанда минимизациялауға болады.

Жылу сыйымдылығы жоғары элементтерге басымдылық беру:

Бөлмені жылыту немесе салқындатуды бөлменің жылу балансының ең жылу сыйымдылығы жоғары элементтерінен бастау керек.

Принциптерді біріктіру:

Энергия шығынын оңтайлы басқару үшін максималды жылдамдық принципі мен жылу сыйымдылығы жоғары элементтерге басымдылық беру принциптерін бір мезгілде жүзеге асыруға ұмтылу қажет.

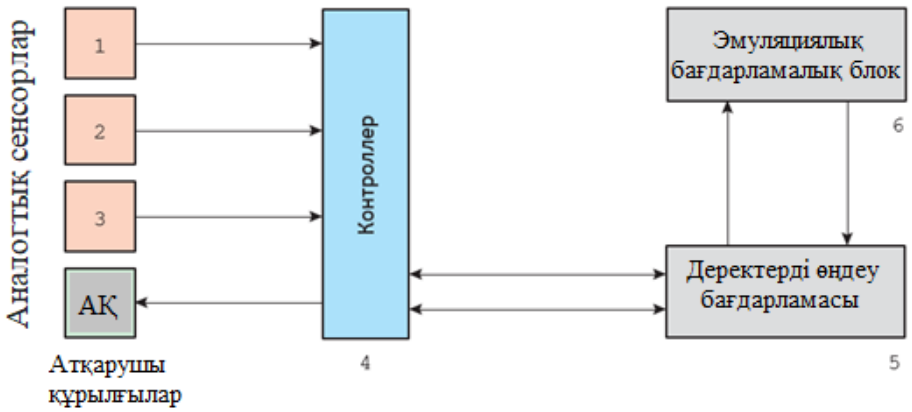
Өзін-өзі оқыту жүйесі:

Жылу энергиясын тұтынуды басқару жүйесі сыртқы метеожағдайлар датчиктерінің көрсеткіштерін эмуляциялайтын бағдарламалық блокпен толықтырылады. Бұл блок модельденген датчиктер көрсеткіштерін деректерді өңдеу бағдарламасына жібереді. Жылу энергиясын тұтынуды басқару жүйесі мыналарды қамтиды:

- Микроклимат датчиктері
- Микроклиматы қалыптастыруды анықтайтын параметрлер датчиктері
- Сыртқы метеожағдайлар датчиктері

Барлық датчиктер кіріс/шығыс контроллері арқылы деректерді өңдеу бағдарламасымен байланыстырылған, ол өз кезегінде контроллер арқылы атқарушы құрылғыларды басқарады.

Осындай құрылым жүйенің өзін-өзі оқытуға және пайдалану барысында тиімділігін үнемі арттыруға мүмкіндік береді.



1-сурет. Жылу энергиясын тұтынуды басқарудың функционалдық схемасы

1-суретте жылу энергиясын тұтынуды басқарудың функционалдық схемасы көрсетілген. Жүйе мыналарды қамтиды:

1 - Микроклимат датчиктері;

2 - Технологиялық процестер параметрлерінің датчиктері;

3 - Сыртқы метеожағдайлар датчиктері: Атқарушы құрылғылар (АҚ);

4 - Деректерді енгізу/шығару контроллері;

5 - Деректерді өңдеу бағдарламасы;

6 - Сыртқы метеожағдайлар датчиктерінің көрсеткіштерін эмуляциялайтын бағдарламалық блок, ол модельденген датчиктер көрсеткіштерін деректерді өңдеу бағдарламасына жібереді.

2. Талдау

Жүйе циклдік түрде, бірдей уақыт аралығында жұмыс істейді. Әрбір цикл барлық датчиктерді бірінен соң бірі сұрастырудан бастайды. Деректерді өңдеу бағдарламасы контроллер арқылы әрбір датчикті сұрастырып, оның көрсеткіштерін алады. Деректерді өңдеу бағдарламасына деректерді өңдеу және енгізу уақыты басқарылатын процестегі тербеліс кезеңінен едәуір аз. Сондықтан бір цикл ішінде алынған барлық ақпарат дерлік бір мезгілде беріледі. Барлық өлшеу ақпараты жадыға жүктелгеннен кейін деректерді өңдеу бағдарламасы түскен деректерді өңдеп, қажетті басқару сигналдарын есептейді. Содан кейін контроллер басқару сигналдарын атқарушы құрылғыларға жібереді, бұл басқару әсерінің бүкіл басқару циклі бойында тұрақты болуын қамтамасыз етеді. Содан кейін өңделген және жинақталған процестің жүруі және технологиялық жабдықтардың жай-күйі туралы ақпарат деректерді өңдеу бағдарламасымен жадыға және қажетті перифериялық құрылғыларға жіберіледі. Ары қарай жүйе күту режиміне ауысады немесе бағдарлама мен аралық нәтижелерді бұзбай басқарудың келесі циклі кезінде тоқтатылуы мүмкін қосымша есептеулерді орындайды. Жүйенің жұмыс істеуінің бастапқы кезеңінде басқару циклдары арасындағы уақыт жүйенің өзін-өзі оқытуға жұмсалады.

Оқыту процесі келесідей жүзеге асырылады:

- Деректерді өңдеу бағдарламасына бөлменің жылу режимін математикалық модельдеудің бағдарламалық блогы қосылады.
- Басқару циклдары арасындағы кезеңдерде деректерді өңдеу бағдарламасы сыртқы метеожағдайлар датчиктерінің көрсеткіштерін эмуляциялайтын бағдарламалық блокты қосады.

Оқыту кезінде жүйе басқару режимінде жұмыс істегендей жұмыс істейді, бірақ айырмашылығы бар: кіріс ақпарат сыртқы метеожағдайлар датчиктерінің көрсеткіштерін эмуляциялайтын бағдарламалық блоктан келеді, ал шығыс ақпарат микроклиматтың қалыптасуын модельдейтін бағдарламалық блокқа жіберіледі. Микроклиматтың қалыптасуының келесі моделінде оқыту аяқталғаннан кейін деректерді өңдеу бағдарламасына микроклиматтың қалыптасуының күрделірек моделі енгізіледі және жүйе жинақталған деректерді пайдалана отырып, осы модельде оқытылады. Модельдерде оқыту процесі жүйе микроклиматтың қалыптасуының бір математикалық моделінен екіншісіне жеткілікті тез өте бастағанда аяқталады. Содан кейін жүйе нақты объектте оқыту режиміне ауысады. Оқыту уақыты модельдерде оқыту кезінде басқару циклдарының жиілігі екі есеге артатындықтан қысқарады. Математикалық модельдің өзін-өзі оқыту әдістемесі бөлек математикалық міндет болып табылады. Оның шешімі мен іске асырылуына көптеген зерттеулер арналған. Өзін-өзі оқытатын математикалық модельдерді жасау үшін ықтималдық интерактивті әдістерді, атап айтқанда стохастикалық аппроксимация әдістерін қолдану тиімді және ыңғайлы болып шықты. Формальды түрде бұл тәсіл итерация әдісіне [3] ұқсас.

3. Қорытынды

Осылайша, ғимараттардың жылу энергиясын тұтынуды басқарудың автоматтандырылған жүйелері үшін жасанды интеллект жасаудың ұсынылған әдістемесі ғимараттарды жылыту және салқындату процесінде энергия шығындарын тиімді басқарудың ғылыми негіздерін айтарлықтай кеңейтеді.

Бұл әдістемені практикада қолдану отын-энергетикалық ресурстарды тұтынуды едәуір төмендетуге мүмкіндік береді, нәтижесінде ғимараттардың энергетикалық тиімділігі артып, экологиялық тұрақтылық қамтамасыз етіледі. Жасанды интеллекттің көмегімен алынған деректер негізінде оңтайлы шешімдер қабылдау, ғимараттардың жайлылығын арттыруға және операциялық шығындарды азайтуға ықпал етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. F. Telgozhayeva, M. Arici, M. Kunelbayev, G. Tyulepberdinova, Zh. Spabekova, A. Berdygulova, Y. Shaken, "A Mathematical Model of an Automated Control System for Heat Regulation in a Building", WSEAS Transactions on Systems and Control, 2023. - vol. 18. - P p. 231-242.
2. Gruber J. K., Prodanovic M. Two-stage optimization for building energy management // Smart Energy Control Systems for Sustainable Buildings. – Springer International Publishing, 2017. – С. 225-243. Mathews E. H. et al. HVAC control strategies to enhance comfort and minimize energy usage // Energy and buildings, 2001. – Т. 33. – No. 8. – Pp. 853-863.
3. Николенко С.И., Тулупьев А.Л. Самообучающиеся системы. М.: МЦНМО, 2009. - 288 с.
4. Atam E. et al. Optimal control approaches for analysis of energy use minimization of hybrid ground-coupled heat pump systems // IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2015. - Т. 24. – No. 2. – Pp. 525-540.
5. Ali U. et al. A data-driven approach for multi-scale GIS-based building energy modeling for analysis, planning and support decision making // Applied Energy, 2020. – Т. 279. – 115834 p.
6. Jiang Q. et al. Research on building energy management in HVAC control system for university library // Energy Procedia. – 2018. – Т. 152. – Pp. 1164-1169.

Телгожаева Фарида Сагымбековна – PhD докторант. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: faridats@mail.ru;

Тюлепбердинова Гульнур Алпыскызы – қауымдастырылған профессор. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті
050000, Алматы; e-*mail*: *tyulepberdinova@gmail.com*

Кунелбаев Мурат Меркебекович-аға оқытушы. ҚР БҒМ ҚН Ақпараттық және есептеу технологиялары институты;
050000, Алматы; e-mail: murat7508@yandex.kz

QUANTITATIVE ANALYSIS OF MEDICAL IMAGE AUGMENTATION TECHNIQUES USING DEEP NEURAL NETWORK FOCUS ON SEGMENTATION AND QUALITY EVALUATION

Koishiyeva D.E., Baimuldina N.S, Tussupova B.B
Almaty University of Power Engineering and Telecommunications Named after Gumarbek Daukeyev, Kazakhstan
e-mail: d.koishiyeva@aues.kz , n.baimuldina@aues.kz, b.tusupova@aues.kz

Annotation. *Medical image segmentation is a major challenge in computer vision. Precise segmentation is essential for clinical applications, but staining variability, artifacts, and sample preparation complicate the process. The limited size of available histologic datasets poses a considerable challenge to the development of efficient segmentation models, as large datasets are required to achieve robustness. This study aims to analyze the effect of nine different augmentation methods on the performance of a deep learning model for nucleus segmentation. The NuInsSeg dataset consisting of 665 annotated histology images stained by H&E was used in the study. DNN model enhanced with CBAM and ASPP was used. Method 1, using horizontal and vertical flipping, showed the highest performance with an accuracy of 0.8957 and sensitivity of 0.9003, showing stable results. This investigation emphasizes the decisive role of augmentation strategies in improving model segmentation accuracy.*

Key words. *Segmentation, augmentation, DNN, ASPP, image preprocessing*

1. Introduction. Medical image segmentation represents one of the important challenges in biomedical informatics and computer vision. Automated systems' ability to accurately identify nuclei or organ boundaries in complex medical images has the potential to assist specialists in speeding up the diagnostic process. However, the segmentation of histologic cells and nuclei faces several challenges [1]. First, images can vary significantly in quality depending on the acquisition conditions, namely differences in staining, microscopy, and sample preparation methods, creating a problem of model generalization. Second, available datasets are often limited in size, making it difficult to train deep neural networks (DNN) that require large amounts of data to achieve high levels of performance and robustness to data differences [2]. One of the effective solutions to improve the generalization ability of neural networks is data augmentation, a method of artificially expanding the training set by applying various transformations to the original images [3]. Augmentation provides substantial improvements in results on limited datasets, but the impact of different augmentation methods on segmentation models remains sparsely investigated [4].

This paper quantitatively analyzes the performance of nine augmentation methods on the histological cell segmentation task using a modified DNN architecture. The focus is on the comparative analysis of performance on key metrics: accuracy, sensitivity, average overlap, and loss function [5]. The aim of the study is to evaluate the contribution of augmentation methods to improve the segmentation of histologic images.

2. Materials and research methods. In this research work, the NuInsSeg dataset was used, which contains 665 hematoxylin and eosin (H&E) stained digital histology images, each representing a 512x512 pixel region. This dataset was chosen due to its high completeness and

manual annotation of more than 30,000 nuclei. An important advantage of NuInsSeg is its diversity - data were obtained from 31 human and mouse organs [6].

Multiple image preprocessing steps were performed to enhance the efficiency of this dataset. Initial images were converted to PNG format to optimize memory usage and reduce the computational resources required for model training. Subsequently, the images were normalized in the range of 0-1 values to promote more stable convergence of the DNN during training. The image size was reduced to 256x256 pixels to reduce computational complexity and speed up the training process. In this paper, nine different augmentation methods aimed at improving the segmentation of histological images are applied, which will be here after denoted as Method-1 to Method-9.

Method-1: Horizontal and vertical flipping. This method involves flipping the image along the horizontal and vertical axes.

$$I' = Flip(I, axis) \tag{1}$$

where axis $\in$ {x,y}. The flipping operation changes the image orientation, preserving the essential features while introducing variations in the data.

Method-2: Random rotation. For Method-2, the images are randomly rotated by an angle selected from the range [−30◦,30◦]. The transformation is represented as:

$$I'(x', y') = I(x\cos\theta - y\sin\theta + y\cos\theta) \tag{2}$$

where $\in$ [−30◦,30◦]. This helps the model become invariant to rotational changes in the input data [7].

Method-3: Random scaling. The scaling operation changes the size of the objects in the image by a factor s within a defined range, s $\in$ [0.8, 1.2].

$$I'(x', y') = I(\frac{x}{s}, \frac{x}{s}) \tag{3}$$

where s is the scaling factor, and are the coordinates after scaling.

Method-4: Brightness adjustment. Brightness adjustment modifies the pixel intensities by a factor randomly selected from [0.8,1.2].

$$I'(x, y) = \beta \cdot I(x, y) \tag{4}$$

where $\in$ [0.8,1.2], and I (x, y) is the pixel intensity at (x, y).

Method-5: Gaussian noise addition. Gaussian noise is added to each pixel, with zero mean and variance 0.01.

$$I'(x, y) = I(x, y) + N(0, \sigma^2) \tag{5}$$

where $N(0, \sigma^2)$ represents Gaussian noise with zero mean and variance.

Method-6: Random cropping. This method involves randomly cropping the image to a smaller size. For example, in our research, cropping the original 256x256 image to 224x224.

$$I'(x,y) = I(x + x_0, y + y_0) \tag{6}$$

where x_0 and y_0 are the random offsets to define the crop starting position, ensuring the cropped region is of size 224x224.

Method-7: Elastic deformation. Elastic deformation is modeled by displacing pixels according to a smoothed random displacement field. The displacement field d is generated with parameters α and σ.

$$I'(x,y) = I(x + \alpha \cdot G_x(x,y), y + \alpha \cdot G_y(x,y)) \tag{7}$$

where Gx and Gy are Gaussian filters applied to random displacement fields, with standard deviation σ.

Method-8: Contrast adjustment. Contrast adjustment changes the contrast of the image by multiplying pixel values by a factor c, selected from the range [0.8,1.2].

$$I'(x,y) = (I(x,y) - \mu) \cdot c + \mu \tag{8}$$

where c ∈ [0.8,1.2] is the contrast factor, and is the mean pixel intensity of the image.

Method-9: Random blurring. This method applies Gaussian blurring to the image, using a Gaussian filter with standard deviation σ=1.0.

$$I'(x,y) = \int_{\infty}^{\infty} I(u,v)G(x - v, y - v; \sigma)dudv \tag{9}$$

where G is the Gaussian kernel with standard deviation σ [8].

After introducing preprocessing and augmentation to the above steps, a modified DNN architecture was used. The DNN model used in this study is based on the U-Net architecture, which is well established in medical image segmentation tasks due to its encoder-decoder structure and its ability to capture fine details through transmission connections [9]. In this experiment, the U-Net model was enhanced by including two key modules, Atrous Spatial Pyramid Pooling (ASPP) and Convolutional Block Attention Module (CBAM) [10]. ASPP applies dilated convolutions with different rates to capture multi-scale information. The output feature maps at different dilation rates can be expressed as:

$$F_{ASPP} = [Conv_1(I)Conv_2(I), ..., Conv_n(I)] \tag{10}$$

where $Conv_i(I)$ represents the feature map produced by convolution with dilation rate ri, applied to the input image I.

The overall output from the encoder, enhanced with ASPP and CBAM, is then passed through the decoder [11]. After the encoder processes the input, the decoder part, consisting of upsampling layers, reconstructs the segmented image, combining high-level features with spatial

information from earlier layers via skip connections. The output is produced through a final SoftMax activation function [12].

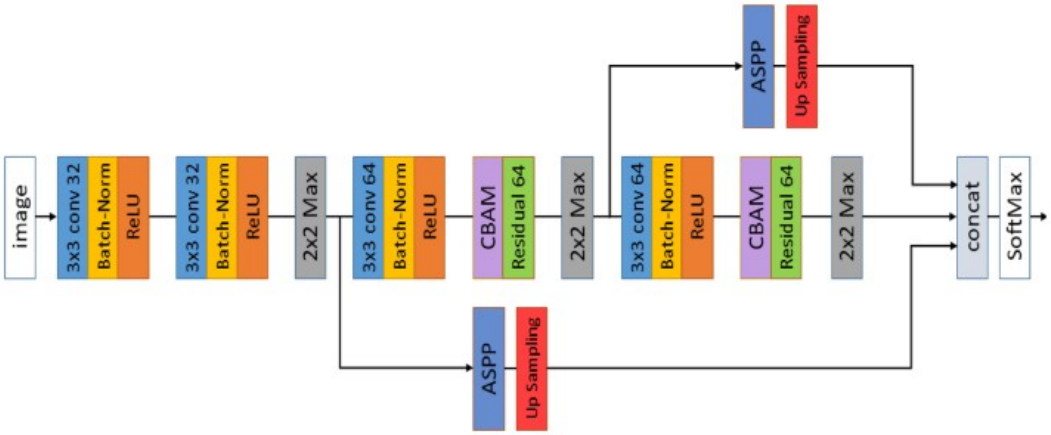


Figure 1. Architecture of a modified DNN model with CBAM and ASPP for nuclei cell segmentation in H&E images

The training setup for this experiment involved optimizing a single DNN model, which was trained nine separate times, each with a different augmentation method. The Adam optimizer was employed, which is known for its adaptive learning rate and convergence efficiency. The initial learning rate was set to 0.001, with a decay factor applied to reduce the learning rate as the training progressed. The batch size for all experiments was fixed at 16. The dataset was split into training, validation, and test sets with a ratio of 70% for training, 15% for validation, and 15% for testing.

In this study, we evaluated the performance of the model using four key metrics: Accuracy, Sensitivity, Loss, and Mean Intersection over Union (Mean IoU).

Accuracy is the ratio of correctly predicted samples to the total number of samples. Mathematically, it can be expressed as:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \tag{11}$$

where *TP* represents true positives, *TN* true negatives, *FP* false positives, and *FN* false negatives.

Sensitivity, also known as recall, measures the proportion of actual positives that are correctly identified. It is especially useful in segmentation in medicine, where it is very important to identify all positive samples:

$$Sensitivity \frac{TP}{TP + FN} \tag{12}$$

The loss function quantifies the difference between the predicted segmentation and the ground truth. In this study, we used the binary cross-entropy loss, which is defined as:

$$Loss = - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} [y_i \log(p_i) + (1 - y_i) \log(1 - p_i)] \tag{13}$$

where y_i is the ground truth label, p_i is the predicted probability, and N is the total number of pixels in the image [13].

Mean IoU, also called the Jaccard index, measures the overlap between the predicted segmentation and the ground truth. Mean IoU is averaged across all classes. The formula for IoU is:

$$Mean\,IOU = \frac{TP}{TP + FP + FN} \tag{14}$$

The experiments were conducted using Python 3.8 with the deep learning framework TensorFlow 2.6.0 and Keras 2.6.0 for model training and implementation. Image augmentation was performed using Albumentations 1.1.0, and image preprocessing utilized OpenCV 4.5.2 and Pillow 8.2.0. Numerical computations were handled with NumPy 1.19.5 and SciPy 1.6.2, while Pandas 1.3.5 was used for data management. Matplotlib 3.4.3 and Seaborn 0.11.2 were used for visualization. All training was executed on an NVIDIA GeForce RTX 3090 GPU to accelerate computations.

Research results. Table 1 presents the model performance on validation data across nine different augmentation methods.

Table 1. Model performance results on validation data for different augmentation methods

Augmentation method	Accuracy	Sensitivity	Loss	Mean IoU
Method-1	0.8957 ± 0.0029	0.9003 ± 0.0210	0.0754 ± 0.0107	0.8209 ± 0.0254
Method-2	0.8955 ± 0.0126	0.9040 ± 0.0237	0.0687 ± 0.0191	0.8238 ± 0.0419
Method-3	0.8925 ± 0.0095	0.8981 ± 0.0149	0.0829 ± 0.0189	0.8069 ± 0.0419
Method-4	0.8911 ± 0.0146	0.8634 ± 0.0740	0.0850 ± 0.0630	0.7817 ± 0.0758
Method-5	0.8932 ± 0.0045	0.8926 ± 0.0519	0.0654 ± 0.0121	0.8077 ± 0.0452
Method-6	0.8950 ± 0.0084	0.8892 ± 0.0756	0.0756 ± 0.0435	0.8144 ± 0.0731
Method-7	0.8842 ± 0.0678	0.8996 ± 0.0158	0.1285 ± 0.1979	0.8029 ± 0.0878
Method-8	0.8940 ± 0.0097	0.8929 ± 0.0243	0.0692 ± 0.0217	0.8094 ± 0.0368
Method-9	0.8907 ± 0.0151	0.8890 ± 0.0436	0.2053 ± 0.1178	0.7854 ± 0.0689

The highest accuracy is observed for Method-1 (0.8957 ± 0.0029), which involves horizontal and vertical flipping, achieving a stable performance with a low standard deviation. Similarly, Method-2 demonstrates comparable accuracy (0.8955 ± 0.0126) with a slight variation due to random rotations applied within a 30° range.

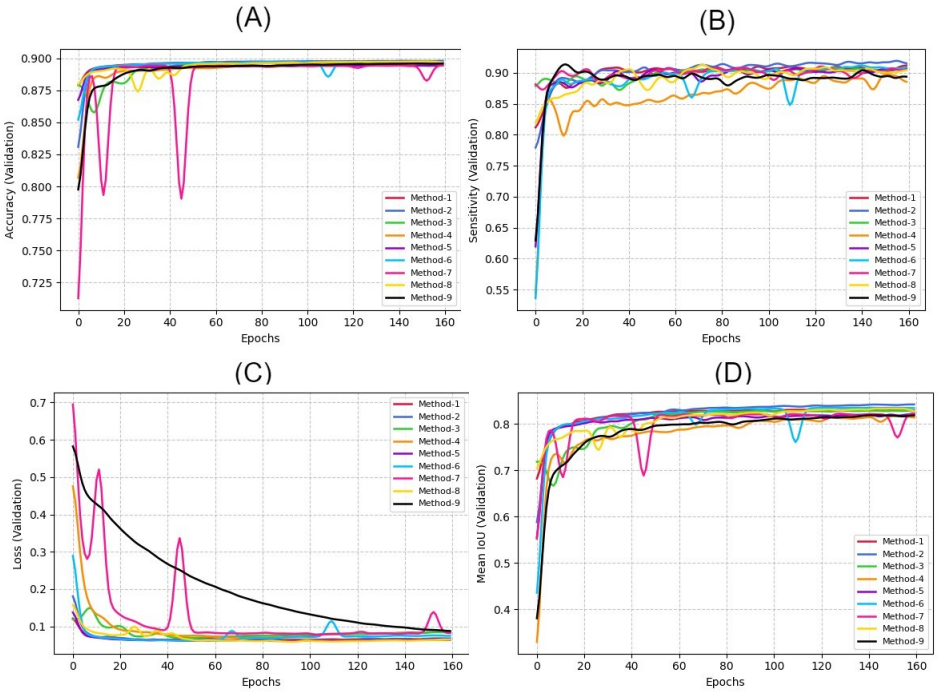


Figure 2. Comparison of augmentation methods on validation data: (A) Accuracy, (B) Sensitivity, (C) Losses, (D) Average IoU

Method 1 and Method 2 show consistently high accuracy and sensitivity, maintaining stability throughout training. Their loss remains low, and the mean IoU remains high, indicating reliable performance. Method 7, however, displays significant fluctuations in all metrics, indicating instability and poor augmentation effects. Method 9 also shows higher loss and lower mean IoU, suggesting challenges in achieving convergence.

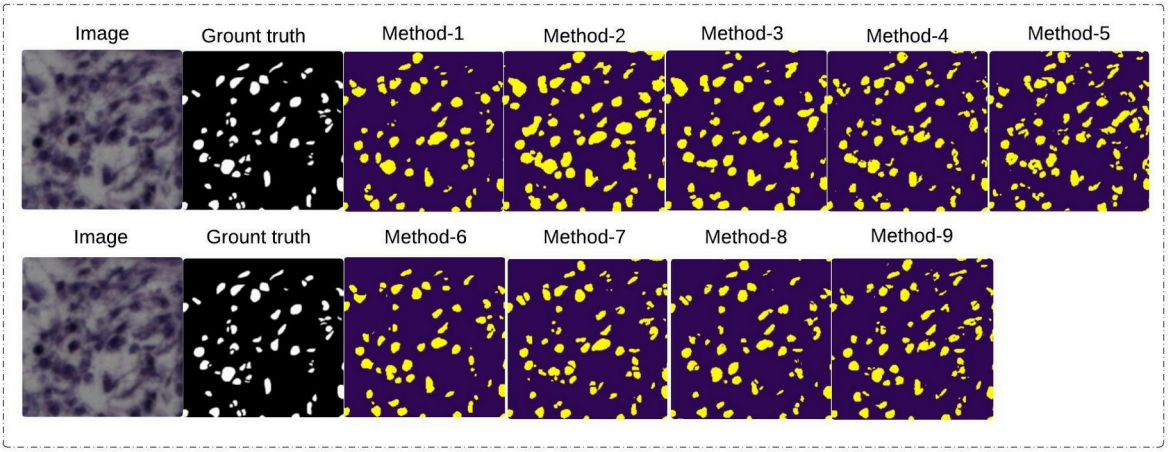


Figure 3. Visual comparison of segmentation results using different augmentation methods

Each column illustrates how the model, trained with a specific augmentation method, segments the nuclei in histological images. Method-1 to Method-9 exhibit varying degrees of success in capturing the ground truth nuclei.

Conclusion. This study provides a comprehensive quantitative analysis of nine augmentation methods applied to histological image segmentation, demonstrating the critical role of data augmentation in enhancing model performance. The experiment revealed that Method 1, involving horizontal and vertical flipping, achieved the highest accuracy of 0.8957 ± 0.0029 and

sensitivity of 0.9003 ± 0.0210, closely followed by Method 2, which applied random rotation, with an accuracy of 0.8955 ± 0.0126 and sensitivity of 0.9040 ± 0.0237. These results indicate the negative impact of excessive noise on model performance, particularly in reducing clarity and increasing prediction difficulty.

List of references

1. *Azad R. et al.* Medical image segmentation review: The success of u-net //IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2024.
2. *Islam Sumon R. et al*. Densely Convolutional Spatial Attention Network for nuclei segmentation of histological images for computational pathology //Frontiers in Oncology. – 2023. – Т. 13. – С. 1009681.
3. *Magoulianitis V., Alexander C. A., Kuo C. C. J. A* Comprehensive Overview of Computational Nuclei Segmentation Methods in Digital Pathology //arXiv preprint arXiv:2308.08112. – 2023.
4. *Hamnett L. et al.* Enhancing Transformer-Based Segmentation for Breast Cancer Diagnosis using Auto-Augmentation and Search Optimisation Techniques //arXiv preprint arXiv:2311.11065. – 2023.
5. *Basu A. et al.* A survey on recent trends in deep learning for nucleus segmentation from histopathology images //Evolving Systems. – 2024. – Т. 15. – №. 1. – С. 203-248.
6. *Mahbod A. et al.* NuInsSeg: A fully annotated dataset for nuclei instance segmentation in H&E-stained histological images //Scientific Data. – 2024. – Т. 11. – №. 1. – С. 295.
7. *Alomar K., Aysel H. I., Cai X.* Data augmentation in classification and segmentation: A survey and new strategies //Journal of Imaging. – 2023. – Т. 9. – №. 2. – С. 46.
8. *Cossio M.* Augmenting medical imaging: a comprehensive catalogue of 65 techniques for enhanced data analysis //arXiv preprint arXiv:2303.01178. – 2023.
9. *Ronneberger O., Fischer P., Brox T.* U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation //Medical image computing and computer-assisted intervention–MICCAI 2015: 18th international conference, Munich, Germany, October 5-9, 2015, proceedings, part III 18. – Springer International Publishing, 2015. – С. 234-241.
10. *Mukasheva A. et al.* Modification of U-Net with Pre-Trained ResNet-50 and Atrous Block for Polyp Segmentation: Model TASPP-UNet //Engineering Proceedings. – 2024. – Т. 70. – №. 1. – С. 16.
11. *Sunesh et al.* Nucleus segmentation from the histopathological images of liver cancer through an efficient deep learning framework //Multimedia Tools and Applications. – 2024. – С. 1-26.
12. *Gabdullin M. T. et al*. Automatic cancer nuclei segmentation on histological images: comparison study of deep learning methods //Biotechnology and Bioprocess Engineering. – 2024. – С. 1-14.
13. *Mukasheva A. et al.* COMPARISON EVALUATION OF UNET-BASED MODELS WITH NOISE AUGMENTATION FOR BREAST CANCER SEGMENTATION ON ULTRASOUND IMAGES // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Т. 125. – №. 9.

Койшиева Дина Еркиновна – магистрант, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, d.koishiyeva@aues.kz

Баймулдина Назира Сахимжановна – к.п.н., ассоц.профессор кафедры IT-инженерии и искусственного интеллекта, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, n.baimuldina@aues.kz

Тусупова Белла Блялевна – к.т.н., доцент кафедры IT-инженерии и искусственного интеллекта, Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, b.tussupova@aues.kz

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КОММЕНТАРИЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ В ФИНАНСОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Шайхиева Ж., Мансурова М., Амирханова Г., Оспан А.
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Статья представляет детальное изучение применения моделей обработки естественного языка в финансовых технологиях. Основное внимание уделяется выбору подходящей большой языковой модели, а также процессу ее обучения и подбору гиперпараметров для максимально эффективной класстеризации комментариев. Описывается подробная методология, которая использовалась для обучения модели, включая предварительную обработку данных, выбор архитектуры модели, оптимизацию гиперпараметров и оценку производительности. Эта работа представляет собой ценный вклад в область применения искусственного интеллекта в финтех, обеспечивая практические рекомендации и глубокие инсайты для специалистов и исследователей.

Введение. В современном мире финансовых технологий (далее - финтех) анализ пользовательских данных играет ключевую роль в разработке и улучшении продуктов и услуг. Одним из важных источников информации о потребностях и предпочтениях клиентов являются комментарии и отзывы, оставленные на различных платформах и в социальных сетях. Эти данные содержат ценную информацию, которая может существенно повлиять на принятие управленческих решений и стратегическое планирование.

Однако, объем и разнообразие комментариев создают значительные вызовы для их эффективного анализа. Традиционные методы обработки текстов часто оказываются недостаточными для адекватного понимания и интерпретации смыслов в больших и разнородных текстовых данных. В этой связи большие языковые модели, такие как GPT-3 и BERT, предоставляют новые возможности для автоматической обработки и анализа естественного языка благодаря своей способности понимать контекст и генерировать осмысленные тексты.

Использование Больших языковых моделей (далее - БЯМ) для кластеризации комментариев в финтех является перспективным направлением, которое может привести к значительным улучшениям в понимании клиентских предпочтений и поведения. Кластеризация позволяет группировать схожие комментарии, выявляя основные темы и тенденции, что в свою очередь помогает финансовым учреждениям более точно и оперативно реагировать на запросы и проблемы клиентов.

Таким образом, исследование применения больших языковых моделей для кластеризации комментариев в финтех обладает высокой актуальностью, так как оно направлено на решение одной из ключевых задач современной аналитики данных и способствует повышению качества и персонализации финансовых услуг.

Анализ пользовательских комментариев в сфере финансовых технологий является критически важным по таким причинам, как улучшение клиентского опыта, выявление проблем и возможностей, управление репутацией, персонализация услуг, конкурентное преимущество, соблюдение регуляторных требований. Однако объем и разнообразие комментариев создают значительные вызовы для их эффективного анализа. Традиционные методы обработки текстов часто оказываются недостаточными для адекватного понимания и интерпретации смыслов в больших и разнородных текстовых данных. В этой связи большие языковые модели (БЯМ), такие как GPT-3 и BERT, предоставляют новые

возможности для автоматической обработки и анализа естественного языка благодаря своей способности понимать контекст и генерировать осмысленные тексты.

Кроме того, БЯМ можно адаптировать к различным задачам и сценариям путем дообучения на специализированных наборах данных, что делает их универсальными инструментами для кластеризации текстов, анализа тональности, чат-ботов, машинного перевода и многих других приложений. Использование БЯМ позволяет автоматизировать множество процессов, связанных с анализом и обработкой текста, что снижает затраты и увеличивает масштабируемость решений. Эти модели также способны анализировать тональность и эмоциональную окраску текстов, что позволяет лучше понимать настроение и потребности пользователей.

Методология. Для проведения исследования были использованы 9644 анонимных комментарии и отзывы пользователей, собранные из одной банковской организации. Данные были собраны в виде 3 столбцов: комментарий, подкатегория и основная категория комментария. Эти данные предоставили богатый источник информации о взаимодействии клиентов с финансовыми продуктами и услугами банка, а также об их мнениях и ожиданиях. Чтобы обеспечить качество и достоверность анализа, была проведена тщательная предварительная обработка данных, включающая несколько ключевых этапов. На этапе очистки данных были удалены дубликаты и неинформативные записи, такие как пустые комментарии или сообщения, содержащие только специальные символы. Также были устранены ошибки ввода и опечатки, что способствовало улучшению качества текстовых данных. Нормализация данных включала приведение всех символов к нижнему регистру, удаление специальных символов и знаков препинания, а также стандартизацию форм слов, например, приведение всех глаголов к начальной форме. Этот процесс обеспечил консистентность данных и улучшил качество дальнейшего анализа и кластеризации.

Следующим важным этапом предварительной обработки данных стала токенизация. Тексты были разделены на отдельные "токены", поскольку большие языковые модели работают с токенизированными данными. Токенизация включает разбиение текстов на отдельные слова, фразы или другие значимые элементы, что является фундаментальным для дальнейшего анализа текста. Этот процесс преобразует неструктурированный текст в более структурированную форму, удобную для машинной обработки.

После токенизации были удалены стоп-слова, такие как предлоги, союзы и другие часто встречающиеся слова, которые обычно не несут много смысла. Это позволило уменьшить размерность данных и сфокусировать внимание модели на более значимых словах. Затем слова или фразы были преобразованы в числовые векторы, которые могут быть использованы в модели. Одним из распространенных подходов является one-hot encoding, но для больших языковых моделей часто применяются более сложные подходы, такие как Word2Vec или BERT embeddings, которые сохраняют семантическую информацию и улучшают качество анализа.

После завершения этапов токенизации и преобразования в числовые векторы данные были поделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Это деление позволяет оценить, насколько хорошо модель будет работать на новых данных, и обеспечивает объективную оценку её производительности. Обучающая выборка используется для тренировки модели, валидационная — для настройки гиперпараметров и предотвращения переобучения, а тестовая — для окончательной оценки качества модели.

Таким образом, собранные и предварительно обработанные комментарии из крупного банка предоставили надежную и качественную основу для исследования, направленного на разработку и оценку методов кластеризации с использованием больших языковых моделей.

Выбор большой языковой модели. Выбор модели для обработки естественного языка в значительной степени зависит от специфических требований и условий проекта. В

контексте кластеризации комментариев в финтех, BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) представляет собой привлекательный выбор по нескольким причинам.

Во-первых, BERT является двунаправленной моделью, что означает, что она учитывает контекст как слева, так и справа от каждого слова в предложении. Это позволяет модели лучше понимать смысл и значения слов в контексте, что особенно важно для анализа сложных и многообразных текстов, таких как комментарии пользователей.

Во-вторых, BERT была предварительно обучена на огромных объемах текстовых данных, что позволяет ей обладать высокими обобщающими способностями и точностью. В контексте финтех это особенно важно, так как комментарии пользователей могут содержать специфическую финансовую терминологию и контексты, которые требуют точной интерпретации.

В-третьих, BERT поддерживает различные варианты дообучения, что позволяет адаптировать модель к конкретным задачам и данным. В случае кластеризации комментариев можно дообучить BERT на специализированных наборах данных, содержащих отзывы и комментарии пользователей в контексте финансовых услуг.

Кроме того, BERT предлагает возможность использования эмбеддингов на уровне предложений и документов, что позволяет более точно представлять и анализировать длинные тексты. Еще одним преимуществом BERT является его способность обрабатывать большие объемы данных параллельно, что делает его подходящим для использования в промышленных масштабах. Это важно для крупных финансовых организаций, которые ежедневно обрабатывают тысячи комментариев и отзывов.

Эти характеристики делают BERT мощным инструментом для анализа и кластеризации текстовых данных в финансовой сфере, что способствует улучшению качества услуг и повышению удовлетворенности клиентов.

Загрузка модели и подбор гиперпараметров. Для использования модели BERT в нашем проекте по кластеризации комментариев в финтех, данные были преобразованы в тензоры PyTorch и вызвана модель BERT. Интерфейс BERT в PyTorch требует, чтобы данные были представлены в виде тензоров torch, а не в списках Python, поэтому первоначально списки данных были преобразованы в соответствующие тензоры. Это преобразование обеспечивает совместимость данных с моделью и позволяет эффективно использовать мощные вычислительные возможности PyTorch. Для загрузки предварительно обученной модели BERT был использован вызов `from_pretrained`, который загружает модель из open-source репозитория. В данном случае была выбрана модель `bert-base-uncased`, которая является одной из наиболее распространенных и хорошо зарекомендовавших себя конфигураций BERT. При загрузке модели мы видим определение модели, напечатанное в логах, что подтверждает успешное выполнение загрузки и инициализацию всех необходимых компонентов.

После загрузки модели мы приступили к подбору гиперпараметров, необходимых для дообучения и оптимизации модели под нашу задачу кластеризации. Подбор гиперпараметров включает в себя выбор таких параметров, как размер мини-батча, скорость обучения, число эпох, и другие параметры, влияющие на процесс обучения и производительность модели. Подбор гиперпараметров является важным этапом, так как правильные значения этих параметров могут значительно улучшить качество модели и ее способность обобщать данные.

Размер мини-батча определяет количество примеров, обрабатываемых моделью за одну итерацию. Маленькие размеры батчей могут улучшить обобщающую способность модели, но увеличивают время обучения, тогда как большие размеры батчей ускоряют обучение, но могут привести к меньшей точности. Размер пакета (batch size) влияет на стохастическую природу градиентного спуска. Больший размер пакета обеспечивает более

стабильное обновление градиентов, но требует больше памяти. В нашем исследовании мы экспериментировали с различными размерами мини-батчей и выбрали оптимальное значение, которое обеспечивало баланс между скоростью обучения и качеством модели. Для процессора Intel Core i7-11700K с использование CPU использовался размер пакета - 16.

Скорость обучения контролирует, насколько сильно обновляются веса модели в процессе обучения. Слишком большая скорость обучения может привести к нестабильному обучению, в то время как слишком маленькая может замедлить обучение или привести к подбору невыразительной модели. Во многих работах [9][10] BERT рекомендуется использовать learning rate в диапазоне от 2e-5 до 5e-5.

Число эпох определяет, сколько раз модель будет проходить через весь набор данных в процессе обучения. Для определения оптимального числа эпох мы использовали метод ранней остановки, который позволяет прекратить обучение, если качество модели на валидационной выборке перестает улучшаться. Слишком малое число эпох может привести к недообучению, а слишком большое - к переобучению. Так как, данных было не так много, модель была обучена на 3 эпохах.

Шаги разогрева (warmup steps) - количество шагов, в течение которых скорость обучения постепенно увеличивается до начальной скорости обучения. Это может помочь предотвратить "промах" при обучении в начале обучения. Для нашей модели был выбран 500 шагов.

Дополнительно были настроены другие гиперпараметры, такие как коэффициент регуляризации, который помогает предотвратить переобучение модели, и параметры дропаута, которые улучшают способность модели к обобщению путем случайного отключения нейронов во время обучения.

Оценка и тестирование модели. Для оценки обученной модели использовалась валидационная выборка, представляющая собой данные, которые модель не видела во время обучения. Этот подход позволяет оценить, насколько хорошо модель обобщает информацию на новых данных. В зависимости от задачи можно использовать различные метрики. Например, для задач классификации часто применяются точность, F1-мера, AUC-ROC и другие метрики, а для регрессии — средняя абсолютная ошибка, среднеквадратичная ошибка и так далее.

В нашем случае, для оценки качества кластеризации использовался силуэтный коэффициент (Silhouette Coefficient). Эта метрика вычисляет среднее расстояние между примерами в одном кластере и примерами в ближайшем кластере. Силуэтный коэффициент варьируется от -1 до 1, где значения ближе к 1 указывают на хорошо разделенные кластеры, а значения ближе к -1 указывают на неправильное распределение данных по кластерам.

Процесс оценки модели включал следующие шаги:

- Разделение данных на выборки. Данные были разделены на обучающую, валидационную и тестовую выборки. Обучающая выборка использовалась для тренировки модели, валидационная — для подбора гиперпараметров и оценки качества модели на этапах разработки, а тестовая — для окончательной проверки производительности модели на новых данных.

- Обучение модели. Модель BERT была дообучена на обучающей выборке с использованием оптимальных гиперпараметров, определенных на этапе подбора. Процесс обучения включал несколько эпох, в течение которых модель обучалась на данных и обновляла свои параметры для минимизации ошибки.

- Оценка на валидационной выборке. После каждого цикла обучения модель оценивалась на валидационной выборке с использованием силуэтного коэффициента. Эта метрика позволила оценить качество кластеризации, определяя, насколько хорошо данные были распределены по кластерам.

- Анализ результатов. Результаты оценки на валидационной выборке были проанализированы для определения окончательных параметров модели. В случае необходимости, гиперпараметры были корректированы для улучшения производительности модели.

- Оценка на тестовой выборке. Окончательная оценка модели была проведена на тестовой выборке, чтобы подтвердить её способность обобщать информацию и работать на новых данных. Силуэтный коэффициент был снова использован для оценки качества кластеризации.

В ходе оценки на валидационной выборке значение силуэтного коэффициента составило 0.72. Значения, близкие к 1, указывают на хорошую кластеризацию, в то время как значения, близкие к -1, указывают на плохую. Значение 0.72 говорит о том, что наша обученная модель предсказывает лучше, чем случайные значения (>0.5), и обеспечивает удовлетворительное качество кластеризации. После валидации модель была протестирована на тестовом наборе данных. Этот набор данных также не был виден моделью во время обучения, что позволяет получить независимую оценку её производительности. Результаты тестирования дают окончательное представление о том, как модель будет работать на реальных, новых данных.

Для тестовых данных также был использован силуэтный коэффициент в качестве метрики, и значение составило 0.73. Это значение подтверждает, что модель сохраняет свою способность к эффективной кластеризации на новых данных, демонстрируя стабильное качество предсказаний.

Для визуализации результатов и более интуитивного понимания качества кластеризации были построены графики распределения данных по кластерам с использованием методов понижения размерности, таких как t-SNE или PCA. Это позволило визуально оценить, насколько хорошо модель разделяет данные на кластеры и выявить возможные проблемы или области для улучшения.

Таким образом, тщательная оценка и тестирование модели на валидационной и тестовой выборках с использованием силуэтного коэффициента позволили убедиться в её способности обобщать информацию и эффективно выполнять задачи кластеризации. Значения 0.72 на валидационной выборке и 0.73 на тестовой выборке подтверждают, что модель BERT успешно справляется с задачей кластеризации комментариев в контексте финтех, обеспечивая надежную и качественную обработку текстовых данных.

Заключение. В данном исследовании была рассмотрена задача кластеризации пользовательских комментариев в контексте финансовых технологий с использованием большой языковой модели BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers). В ходе исследования были собраны комментарии пользователей из крупной банковской организации. Комментарии прошли тщательную предварительную обработку, включающую несколько ключевых этапов: очистка данных от дубликатов и неинформативных записей, нормализация текстов, анонимизация для обеспечения конфиденциальности, токенизация для разбиения текстов на отдельные токены, удаление стоп-слов для уменьшения размерности данных и преобразование слов в числовые векторы. Эти шаги обеспечили высокое качество данных и подготовили их для последующего анализа с использованием модели BERT. Выбор модели BERT был обусловлен её способностью учитывать двунаправленный контекст, что позволяет более точно понимать смысл и значения слов в тексте. Модель была загружена с использованием интерфейса PyTorch, и для её настройки и дообучения были подобраны оптимальные гиперпараметры, такие как размер мини-батча, скорость обучения и число эпох. Этот этап был критически важен для обеспечения высокой производительности и точности модели.

Для оценки качества кластеризации использовался силуэтный коэффициент, который показал значение 0.72 на валидационной выборке и 0.73 на тестовой выборке. Эти значения

указывают на успешную работу модели, демонстрируя её способность обобщать информацию и эффективно выполнять задачи кластеризации на новых данных. Значения, близкие к 1, свидетельствуют о хорошей кластеризации, тогда как значения, близкие к -1, указывают на плохую. Результаты, полученные в нашем исследовании, подтверждают, что наша обученная модель предсказывает лучше, чем случайные значения (>0.5), и обеспечивает удовлетворительное качество кластеризации.

Результаты исследования подтверждают, что использование моделей, таких как BERT, для кластеризации текстовых данных в финтех, может значительно улучшить анализ пользовательских комментариев. Это открывает новые возможности для повышения качества клиентского обслуживания, выявления проблем и возможностей для улучшения продуктов и услуг, а также для управления репутацией финансовых организаций. Модель BERT, с её двунаправленной архитектурой и возможностью дообучения на специализированных наборах данных, продемонстрировала высокую эффективность и точность в задачах кластеризации текстов.

Эти результаты подчеркивают значимость и потенциал использования современных технологий обработки естественного языка для решения сложных задач анализа данных в финансовой сфере. Внедрение таких технологий может стать ключевым фактором в обеспечении конкурентных преимуществ и долгосрочного успеха финансовых организаций. Продолжение исследований в этом направлении будет способствовать дальнейшему развитию инновационных решений и улучшению качества обслуживания клиентов в финтех.

Благодарность. Статья опубликована в рамках проекта программно-целевого финансирования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан № BR24993001 «Создание большой языковой модели (LLM) для поддержки казахского языка и технологического прогресса» (2024-2026).

Список литературы

1. Ari Holtzman, Jan Buys, Maxwell Forbes, and Yejin Choi. (2019). The curious case of neural text degeneration. CoRR, abs/1904.09751,
2. Jeremy Howard and Sebastian Ruder (2018). Universal language model fine-tuning for text classification.
3. Xiaoqi Jiao, Yichun Yin, Lifeng Shang, Xin Jiang, Xiao Chen, Linlin Li, Fang Wang, and Qun Liu. TinyBERT (2019). Distilling BERT for natural language understanding.
4. González-Carvajal, Santiago, and Eduardo C. Garrido-Merchán (2020). "Comparing BERT against traditional machine learning text classification."
5. Tom B. Brown, Benjamin Mann, Nick Ryder, Melanie Subbiah, Jared Kaplan, Prafulla Dhariwal, Arvind Neelakantan, Pranav Shyam, Girish Sastry, Amanda Askell, Sandhini Agarwal, Ariel Herbert-Voss, Gretchen Krueger, Tom Henighan, Rewon Child, Aditya Ramesh, Daniel M. Ziegler, Jeffrey Wu, Clemens Winter, Christopher Hesse, Mark Chen, Eric Sigler, Mateusz Litwin, Scott Gray, Benjamin Chess, Jack Clark, Christopher Berner, Sam McCandlish, Alec Radford, Ilya Sutskever, Dario Amodei (2020). Language Models are Few-Shot Learners.
6. B. Sun, H. Li, M. Zhu, Y. Chen, Y. Tang (2020). Applying Natural Language Processing (NLP) for Customer Review Processing and Analysis: A Review and Outlook.
7. Kruse, Luisa, Nico Wunderlich, and Roman Beck (2019). "Artificial intelligence for the financial services industry: What challenges organizations to succeed.".
8. Caron, Mirka Snyder (2019). "The transformative effect of AI on the banking industry." Banking & Finance Law Review 34.2: 169-214.
9. Devlin, Jacob, et al. (2018) "Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding.".
10. You, Yang, et al. (2019) "Large batch optimization for deep learning: Training bert in 76 minutes."

Шайхиева Жазира Махамбетқызы – докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби;
050040, Алматы; email: zshaikhiyeva@gmail.com

Мансурова Мадина Есимхановна – к.ф.-м.н., профессор, зав.кафедрой, Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050040, Алматы;
050040, Алматы; email: mansurova.madina@gmail.com

Амирханова Гульшат Аманжоловна – PhD, старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби;
050040, Алматы; email: gulshat.aa@gmail.com

Оспан Асель Галымжанкызы – старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби;
050040, Алматы; email: asselyaospan@gmail.com

A SCIENTIFIC APPROACH TO UTILIZING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE DIAGNOSIS AND PREDICTION OF EARLY AGING

Suleimenova M.U, Mukhammedzhanova D.M, Amanova R.T.
Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty
e-mail: madekin940@gmail.com

Abstract. *Premature ageing is one of the most pressing problems of modern medicine. It is associated with accelerated wear and tear of tissues and organs, which can lead to the development of chronic diseases and reduced life expectancy. In recent years, artificial intelligence (AI) has started to play a key role in healthcare, providing new tools for diagnosis and prognosis. This article reviews current AI advances in the study of premature aging processes, including the use of machine learning to analyse aging biomarkers, estimate biological age, and predict the risk of age-related diseases.*

Key words*: artificial intelligence, premature ageing, biological age, machine learning, biomarkers.*

Introduction. Premature ageing is a complex biological phenomenon characterised by accelerated wear and tear of tissues and organs compared to the chronological age of an individual. This process can be caused by genetic, environmental and lifestyle factors. Premature aging is often accompanied by the appearance of age-related diseases such as cardiovascular diseases, diabetes, osteoporosis and others [1].

With the development of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in medicine, it is now possible to detect signs of premature aging more accurately and earlier. These technologies can analyse large amounts of data, extracting important biomarkers and patterns that may not be accessible by traditional analysis methods. In this article, we discuss the role of AI in diagnosing and predicting premature aging, as well as its potential to improve health and longevity.

Premature aging is associated with various biological and external factors, including oxidative stress, DNA damage, inflammation and epigenetic changes [2]. In recent years, biomarkers such as telomere length, epigenetic clock, oxidative stress levels and immunological parameters have been actively used as indicators of biological age.

With the development of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in medicine, it is now possible to detect signs of premature aging more accurately and earlier than ever before. These technologies can analyze vast amounts of biological, genetic, and clinical data, extracting important biomarkers and identifying patterns that might remain undetected through traditional analysis methods. In this review, we discuss the evolving role of AI in diagnosing and predicting premature aging, focusing on its potential to enhance our understanding of the aging process and improve interventions aimed at promoting health and longevity.

AI and ML offer new ways to analyse these biomarkers in order to diagnose and assess the risk of developing age-related diseases. For example, epigenetic changes such as DNA methylation can be used to calculate biological age. This is the so-called ‘epigenetic clock’, which can accurately determine the extent to which an organism is ageing [3].

Results and methods

1. Analysing biomarkers of aging using AI. AI enables comprehensive analyses of aging biomarkers such as telomere length and DNA methylation levels, which helps to estimate the biological age of an individual more accurately than traditional methods. Machine learning can help identify hidden patterns in DNA methylation data and also predict the rate at which an organism ages based on various biomarkers [4].

For example, deep learning algorithms can analyse epigenetic data to estimate biological age from DNA samples. These algorithms are trained on thousands of samples, allowing them to predict biological age with high accuracy. Applying AI to analyse epigenetic data is becoming an increasingly popular approach in ageing research.

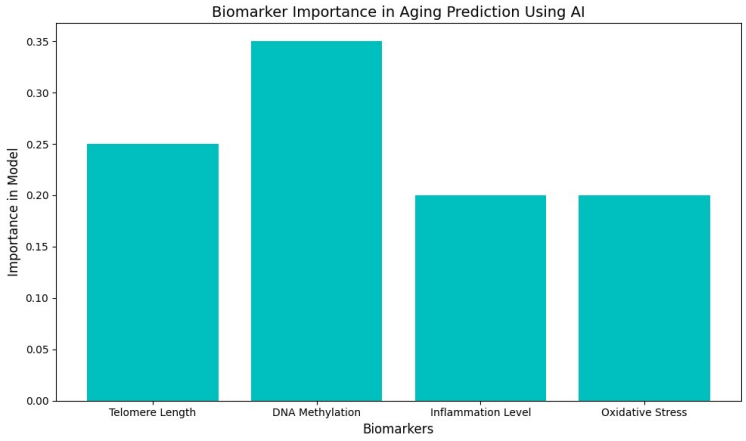


Fig1. Importance of biomarkers

2. Prediction of age-related diseases

AI is also being actively used to predict age-related diseases associated with premature aging. Machine learning models can analyse patients' medical data, including genetic information, biomarkers and lifestyle, to assess the risk of developing diseases such as Alzheimer's disease, cardiovascular disease and osteoporosis [1].

To illustrate the effectiveness of AI in predicting these diseases, Table 1 summarizes the predicted risks for various age-related conditions and the corresponding accuracy of AI models based on biomarker analysis:

Table 1: Predicting Risk of Age-Related Diseases Using AI

Disease	Biomarker	Predicted Risk (%)	Model Accuracy (%)
Cardiovascular Diseases	Inflammatory Markers, Lipid Profiles	80	92
Type 2 Diabetes	Blood Glucose Level, BMI	60	89
Osteoporosis	Bone Density, Metabolic Markers	50	85
Alzheimer's Disease	Neuroimaging, Neurodegeneration Biomarkers	70	91
Cancer (general risk)	Telomere Shortening, Oxidative Stress	65	87
Premature Aging	Telomere Length, DNA Methylation	75	90

The high accuracy of these AI-driven predictions demonstrates the potential of integrating AI into personalized healthcare strategies for age-related diseases.

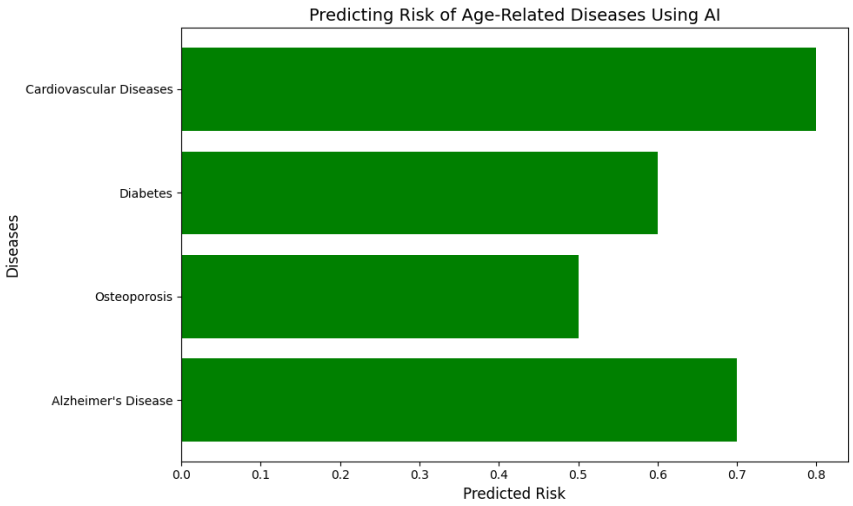


Fig2. Prediction diseases

One promising approach is to create multimodal models that combine data of different types (e.g., genetic, clinical, and lifestyle) for more accurate prediction. Such models can reveal relationships between biomarkers of ageing and specific diseases, which facilitates early detection and prevention of these conditions.

3. Estimation of biological age using AI

Traditional age estimation is based on chronological age, but biological age can vary significantly. AI can be used to estimate biological age based on complex analyses of data such as clinical test results, blood biomarkers, genetic data and even images (e.g. skin or internal organs).

The application of deep learning to image analysis (e.g. MRI or ultrasound) allows the assessment of the degree of aging of tissues and organs. These methods are used to diagnose signs of ageing such as loss of skin elasticity, changes in bone density or increased fatty deposits in the area of internal organs [5].

Show how AI models (e.g., epigenetic clocks) can estimate human biological age from DNA methylation data.

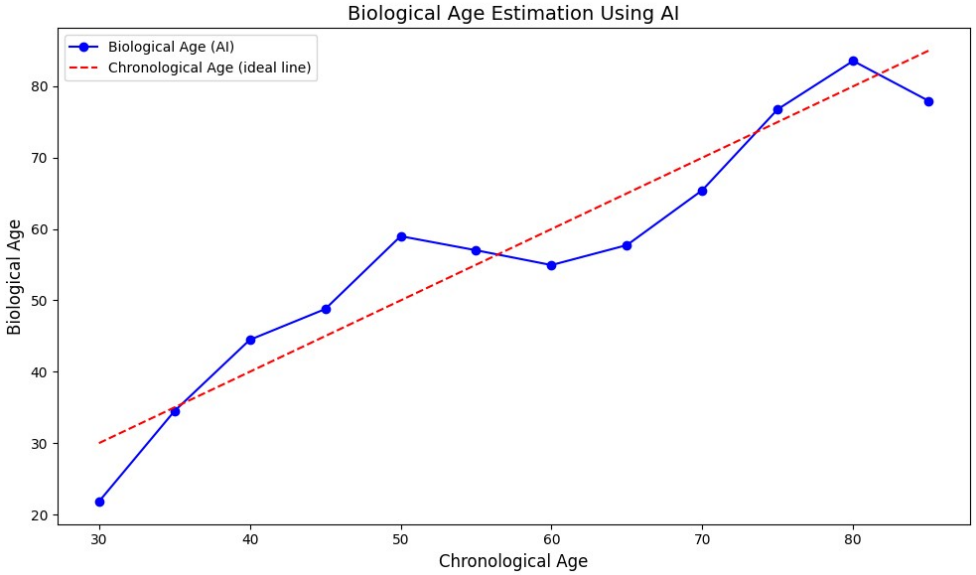


Fig3. Estimation of biological age

Benefits and limitations of using AI in the study of premature aging

Advantages:

1. High accuracy: Machine learning algorithms can identify hidden patterns in large amounts of data and provide more accurate predictions than traditional methods.
2. Process Automation: Using AI to analyse data automates the diagnostic and monitoring process, which reduces human error and saves resources.
3. Personalised predictions: AI can analyse patient-specific data and provide personalised recommendations based on individual body characteristics.

Limitations:

1. Data availability: Large amounts of high quality data are required to create quality AI models, which may limit its application.
2. Transparency of algorithms: Many AI algorithms, especially deep learning, are 'black box', making it difficult to interpret results and limiting their clinical application. Need for regular updates: AI technologies and medical data are rapidly evolving, requiring models to be constantly updated to maintain their accuracy and relevance.

Future prospects for AI applications

AI has great potential to further develop methods for diagnosing and predicting premature aging. The development of hybrid models that can combine data from different sources such as genomics, epigenetics, and clinical data will help create more accurate and personalised solutions for monitoring ageing [6].

In addition, with advances in data processing technologies and the increasing availability of medical data, we can expect to see more advanced methods for predicting and treating age-related diseases. AI will help create new approaches to prevent premature ageing, which in turn may lead to longer life expectancy and improved quality of life.

Conclusion

The application of artificial intelligence in diagnosing and predicting premature ageing opens new horizons for medicine. AI technologies can help in more accurate estimation of biological age, identifying hidden biomarkers of aging and predicting age-related diseases. Despite existing limitations, such as the need for high-quality data and transparency of algorithms, AI is already showing significant advances in this field. In the future, we can expect AI to become an integral part of healthcare systems aimed at combating premature aging.

Bibliography

1. Aging Research Reviews. (2020). Artificial intelligence in aging research. Aging Research Reviews, 65, 101220.
2. Gladyshev, V. N. (2016). Aging: progressive decline in fitness due to the rising deleteriome. Nucleic Acids Research, 44(2), 801-810.
3. Horvath, S. (2013). DNA methylation age of human tissues and cell types. Genome Biology, 14(10), R115.
4. Fahy, G. M., et al. (2019). Reversal of epigenetic aging and immunosenescent trends in humans. Aging Cell, 18(6), e13028.
5. LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521(7553), 436-444.
6. Lopez-Otin, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2013). The hallmarks of aging. Cell, 153(6), 1194-1217.

Suleimenova Madina – Doctoral student. Al-Farabi Kazakh National University;
050006, Almaty; e-mail: madekin940@gmail.com
Mukhammejanova Dinargul – Doctoral student. Al-Farabi Kazakh National University;
050006, Almaty; e-mail: m.dinargul.14@gmail.com
Amanova Raikhan – Doctoral student. Al-Farabi Kazakh National University;
050006, Almaty; e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com

СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБУЧЕННЫХ НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ, СГЕНЕРИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ GAN, ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН НА БИРЖЕ

А.А. Абдилдаева, Г.Б. Нуртуган
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Данная статья посвящена сравнительному анализу эффективности прогнозирования цен на валютном рынке с использованием реальных данных и данных, сгенерированных с помощью генеративных состязательных сетей (GAN). В ходе исследования были разработаны и обучены модели на основе рекуррентных нейронных сетей LSTM, что позволяет эффективно работать с временными рядами. Генератор, созданный на базе LSTM, генерирует синтетические временные ряды, в то время как дискриминатор классифицирует данные как реальные или сгенерированные. Оценка качества прогнозирования проводилась на основе метрик, таких как точность (Accuracy) и площадь под кривой (AUC). Результаты показали, что модели, обученные на реальных данных, демонстрируют значительно более высокую точность по сравнению с моделями на синтетических данных. Тем не менее, синтетические данные могут служить полезным дополнением в условиях ограниченного доступа к реальным данным. Исследование подчеркивает важность дальнейшего изучения и оптимизации методов генерации синтетических данных для улучшения прогнозирования на финансовых рынках.*

Ключевые слова: Генеративные состязательные сети, GAN, временные ряды, прогнозирование цен, LSTM, синтетические данные, валютный рынок, машинное обучение, метрики оценки качества.

1. Введение

Прогнозирование цен на валютном рынке является одной из наиболее сложных и важных задач в финансовом анализе. Валютные рынки характеризуются высокой волатильностью, что усложняет разработку точных моделей прогнозирования. Тем не менее, успешные предсказания могут существенно повысить эффективность торговых стратегий и минимизировать риски для трейдеров и финансовых организаций. Для создания точных моделей необходимы качественные и разнообразные данные, которые могут быть использованы для обучения алгоритмов машинного обучения. Однако на практике возникает несколько проблем, связанных с недостаточным количеством доступных данных, их зашумленностью или высокой корреляцией, что делает задачу прогнозирования ещё более трудной.

Одной из основных проблем при разработке моделей для прогнозирования на финансовых рынках является ограниченность и неоднородность доступных данных. Количество данных, особенно в контексте высокочастотной торговли (например, с шагом в 15 минут), часто бывает недостаточным для качественного обучения сложных моделей. При этом данные могут содержать шумы или быть подвержены влиянию различных внешних факторов, что ухудшает качество прогнозов. В таких условиях генерация синтетических данных с помощью моделей, таких как генеративные состязательные сети (GAN), может стать перспективным решением. Синтетические данные позволяют улучшить процесс обучения моделей, повысить их устойчивость и справиться с проблемой переобучения.

Целью данной статьи является проведение сравнительного исследования между реальными и сгенерированными с помощью GAN данными для прогнозирования цен на валютном рынке. В исследовании будет рассмотрена модель на основе рекуррентной

нейронной сети с длинной краткосрочной памятью (LSTM), которая будет обучена как на реальных, так и на синтетических данных. В статье будет проведён анализ того, насколько хорошо синтетические данные имитируют поведение реальных рыночных цен и как это сказывается на точности прогноза.

Основными задачами данного исследования являются:

1) Обучение LSTM-модели на реальных данных о ценах на валютном рынке для построения прогноза.
2) Генерация синтетических данных с помощью GAN и обучение той же модели на сгенерированных данных.
3) Сравнение точности прогноза на реальных и синтетических данных с использованием метрик оценки качества модели, таких как RMSE и MAE.
4) Оценка эффективности использования синтетических данных для улучшения качества прогнозирования цен на валютном рынке и рассмотрение перспектив использования GAN для финансовых приложений.

2. Обзор литературы

Применение генеративных состязательных сетей (GAN) в финансовой сфере стало активно развиваться за последние годы. Основное их использование заключается в генерации временных рядов для различных задач, таких как прогнозирование цен активов и анализ волатильности. GAN позволяют моделировать сложные зависимости и вариации во временных рядах, создавая синтетические данные, которые можно использовать для обучения моделей машинного обучения. Например, были предложены модели, где генератор основан на LSTM, а дискриминатор на CNN для прогнозирования высокочастотных временных рядов, что позволило повысить точность прогнозов в таких приложениях, как рынок акций и цена нефти [1, 2].

Исследования также показали, что GAN может использоваться для моделирования не только точечных предсказаний, но и для предсказания полных распределений вероятностей, что делает их полезными для учета неопределенности в финансовых данных [1]. Это позволяет моделям GAN конкурировать с традиционными подходами, такими как ARIMA и LSTM, хотя их точность и стабильность все еще обсуждаются в научных кругах.

Кроме GAN, существуют и другие методы генерации синтетических данных. Среди них — автокодировщики (Autoencoders) и вариационные автокодировщики (VAE). Автокодировщики пытаются закодировать входные данные в более компактное представление и затем восстанавливать их, что может быть полезно для создания синтетических временных рядов. Вариационные автокодировщики добавляют вероятностную компоненту, что позволяет моделировать неопределенность в данных.

Основное преимущество автокодировщиков в их способности сжать информацию и восстанавливать важные особенности данных. Однако они могут быть менее эффективны в случаях, когда требуется генерация новых данных, а не восстановление уже известных. VAE, в свою очередь, предоставляет больше контроля над процессом генерации, однако часто проигрывает GAN по качеству синтетических данных, особенно в контексте финансов [3].

Одна из ключевых проблем при работе с реальными финансовыми данными — их недостаток и зашумленность. В условиях недостатка данных сложно обучать модели, поскольку они могут переобучаться на небольшом объеме данных, не захватывая общие закономерности. Зашумленные данные также могут снижать качество прогнозов, так как модели могут "обучаться" на случайных флуктуациях. Это делает задачу генерации синтетических данных чрезвычайно актуальной, так как такие данные могут восполнить пробелы в реальных данных и помочь избежать проблем переобучения. GAN могут

эффективно решать эти проблемы, генерируя дополнительные данные для тренировки моделей [2].

3. Методология

Для исследования использовались данные о ценах акции компании Amazon, представляющие собой временные ряды с ценами закрытия. Данные охватывают период с мая 2019 года по май 2024 года, что включает несколько экономических кризисов и колебаний рынка. Источником данных служили открытые финансовые API, такие как Yahoo Finance и FmpCloud, которые предоставляют точные и высокочастотные данные. Параметры, которые использовались в модели, включают цену открытия, закрытия, максимальные и минимальные цены за день. Эти данные были разделены на тренировочную и тестовую выборки в пропорции 80% на 20%.

Данные были предварительно обработаны: нормализованы для лучшего обучения моделей и устранены выбросы, которые могли бы негативно повлиять на точность предсказаний.

Модель генеративной состязательной сети (GAN) была использована для генерации синтетических данных на основе реальных временных рядов. Архитектура GAN состояла из двух компонентов: генератора и дискриминатора.

Генератор — это сеть, задача которой заключается в создании синтетических данных, максимально приближенных к реальным. В нашем случае генератор был реализован с использованием LSTM (длинная краткосрочная память), что позволило ему эффективно работать с временными рядами. Генератор получает на вход случайный шум и преобразует его в синтетические временные ряды. Он состоит из двух слоев LSTM с 128 нейронами каждый и применяет функцию активации ReLU. Первый слой принимает последовательность заданной длины, а второй слой обрабатывает данные, создавая выход, который соответствует заданной длине временного ряда.

Дискриминатор — это сеть, задача которой заключается в классификации данных на реальные и синтетические. Дискриминатор также построен на основе LSTM и состоит из одного слоя с 128 нейронами, который использует функцию активации ReLU для обработки входных данных и применяется с 30% уровнем дропаутов для повышения устойчивости модели. Дискриминатор имеет выходной слой, состоящий из одного нейрона с сигмоидальной функцией активации, что позволяет ему выдавать вероятность принадлежности данных к классу реальных.

Модель GAN обучается с использованием стохастического градиентного спуска (SGD) и функции потерь бинарной кросс-энтропии для дискриминатора, а генератор обучается с использованием средней квадратичной ошибки (MSE). Дискриминатор обновляется после каждой эпохи на основе ошибки классификации, что позволяет генератору создавать все более реалистичные временные ряды.

Модель для прогнозирования

Для прогнозирования цен на основе как реальных, так и синтетических данных используется еще одна модель, основанная на LSTM (Long Short-Term Memory). Эта архитектура специально разработана для работы с временными рядами и успешно захватывает долгосрочные зависимости, что делает ее подходящей для анализа финансовых временных рядов.

Прогнозирующая модель состоит из двух слоев LSTM. Первый слой содержит 50 нейронов и принимает на вход последовательность из предыдущих 60 временных шагов (это окно для предсказания). Второй слой также состоит из 50 нейронов. Далее следует полносвязный слой с 25 нейронами для дополнительной обработки данных, и выходной слой, состоящий из одного нейрона, предназначен для прогнозирования следующей цены.

Гиперпараметры модели:

- Размер окна: 60 временных шагов (представляющих 15-минутные интервалы).
- Количество эпох: 200.
- Размер батча: 32.
- Функция активации: ReLU для внутренних слоев и сигмоид для выходного слоя.
- Оптимизатор: Adam с начальной скоростью обучения 0.001.
- Функция потерь: MSE (среднеквадратичная ошибка).
- Модель была обучена на реальных данных и на синтетических данных, сгенерированных GAN. Это позволило провести сравнительный анализ эффективности обоих наборов данных для задачи прогнозирования.

4. Результаты

В данной работе получены прогнозы цен на валютном рынке как на основе реальных данных, так и на синтетических, сгенерированных с использованием генеративных состязательных сетей (GAN). Для наглядности результатов мы представим графики, которые показывают сравнение прогноза на реальных данных и на синтетических данных. На графиках отчетливо видно, как изменения цен совпадают с прогнозами, что позволяет визуально оценить эффективность моделей. Графики наглядно демонстрируют, что прогнозы на реальных данных более точно отражают динамику цен, в то время как синтетические данные показывают более выраженные отклонения.

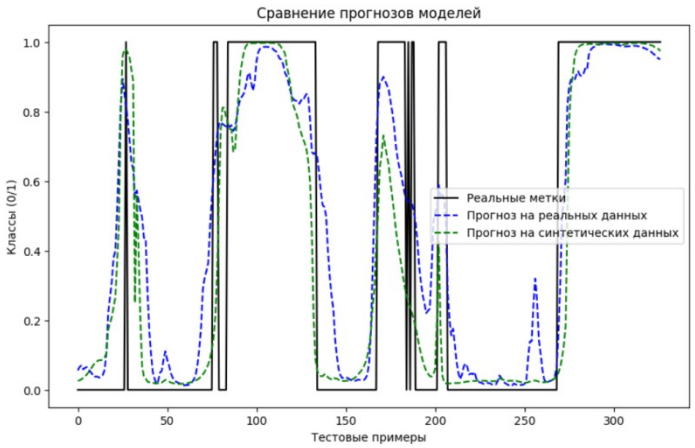


Рисунок 1- Сравнение прогнозов моделей

Для количественной оценки производительности моделей были вычислены метрики точности (Accuracy) и площадь под кривой (AUC). Результаты показывают (Рисунок 1), что точность для модели, обученной на реальных данных, составляет 0.899, тогда как для модели на синтетических данных данный показатель равен 0.881. Это свидетельствует о том, что модель на реальных данных демонстрирует более высокую эффективность в предсказании цен.

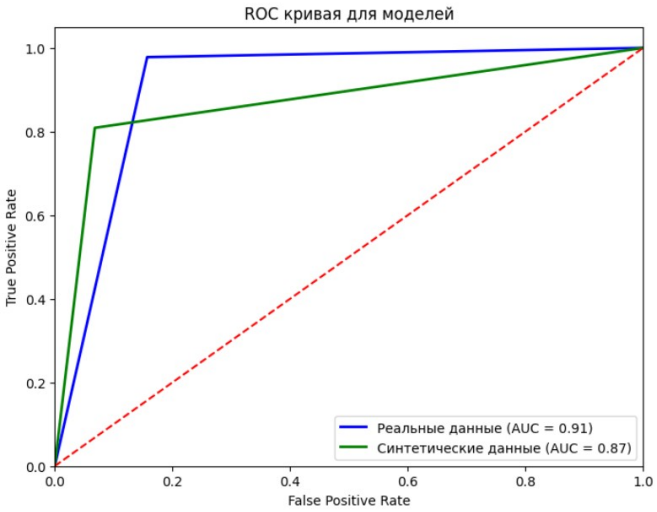


Рисунок 2 - ROC кривая

Площадь под кривой (AUC) также подтверждает эти результаты: для реальных данных AUC составляет 0.91, а для синтетических — 0.87 (Рисунок 2). Эти значения указывают на более высокую способность модели на реальных данных к различению классов, что особенно важно в контексте прогнозирования цен на валютном рынке.

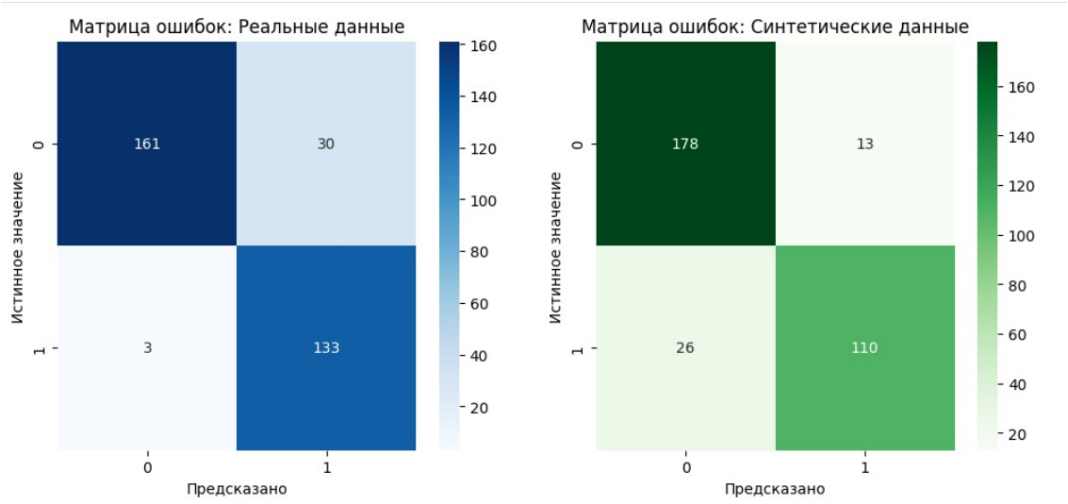


Рисунок 3 - Матрицы ошибок

Дополнительно, матрицы ошибок (Рисунок 3) для обеих моделей показывают, что из 294 истинных положительных и 33 ложных отрицательных предсказаний на реальных данных, модель на синтетических данных имеет 288 истинных положительных и 39 ложных отрицательных. Эти показатели подчеркивают, что синтетические данные несколько ухудшают качество предсказаний, что еще раз акцентирует внимание на необходимости тщательной проверки их применимости.

Эксперимент продемонстрировал, что использование синтетических данных, хотя и полезно, приводит к снижению качества прогнозирования по сравнению с реальными данными. Несмотря на это, синтетические данные могут служить вспомогательным инструментом для обучения моделей в условиях ограниченности реальных данных. Важно отметить, что качество синтетических данных и их способность к имитации реальной динамики рынка оказывают решающее влияние на итоговую эффективность

прогнозирования. Это подчеркивает необходимость применения синтетических данных с осторожностью и тщательной оценкой их качества.

5. Обсуждение

Результаты нашего исследования показывают, что использование генеративных состязательных сетей (GAN) для генерации синтетических данных имеет свои преимущества и недостатки. Несмотря на то что синтетические данные могут быть полезны в условиях нехватки реальных данных, полученные результаты указывают на то, что точность прогнозов на синтетических данных ниже, чем на реальных. Это говорит о том, что синтетические данные, вероятно, не полностью отражают сложность и динамичность реального валютного рынка.

Несоответствие в точности предсказаний может быть обусловлено тем, что GAN не всегда удается уловить все особенности реальных временных рядов, особенно в условиях высокой волатильности. Реальный рынок подвержен влиянию множества факторов, таких как экономические и политические события, которые могут не быть учтены при генерации синтетических данных.

Использование синтетических данных имеет как свои преимущества, так и недостатки. С одной стороны, синтетические данные могут значительно увеличить объем данных, доступных для обучения модели, что особенно полезно в ситуациях, когда реальных данных недостаточно. Они позволяют также провести тестирование моделей в различных сценариях, что помогает понять их устойчивость и способность к обобщению.

С другой стороны, недостатком использования синтетических данных является риск переобучения модели на ограниченном наборе паттернов. Если сгенерированные данные не отражают реальную сложность и разнообразие рыночных условий, это может негативно сказаться на производительности модели в реальных условиях. Также стоит отметить, что даже при высоком уровне генерации синтетических данных, они могут не учитывать уникальные аспекты реального рынка, что приводит к снижению общей точности.

Несмотря на полученные результаты, данное исследование имеет свои ограничения. Во-первых, размер данных может существенно повлиять на результаты, и недостаток объемов данных может снизить обобщающую способность модели. Более того, выбранные гиперпараметры при обучении GAN могут повлиять на качество генерируемых данных. Неправильная настройка гиперпараметров может привести к недостаточной эффективности генерации, что, в свою очередь, скажется на прогнозировании.

Кроме того, важным фактором является влияние внешних факторов на реальный валютный рынок. Эти факторы, такие как глобальные экономические изменения или политическая нестабильность, могут не всегда быть учтены в синтетических данных, что еще раз подчеркивает необходимость их тщательной оценки. Таким образом, дальнейшие исследования должны сосредоточиться на улучшении методов генерации синтетических данных и их интеграции в процессы прогнозирования.

6. Заключение

В ходе нашего исследования были выполнены все поставленные задачи, связанные с оценкой эффективности синтетических данных, сгенерированных с использованием генеративных состязательных сетей (GAN), в контексте прогнозирования цен на валютном рынке. Мы обучили модель LSTM на реальных данных, что позволило достичь высокой точности прогнозирования, продемонстрировав значение этих данных для построения надежных финансовых моделей. В то же время, обучение на синтетических данных показало, что их использование приводит к некоторому снижению точности, что указывает на необходимость осторожного подхода к их применению. Сравнение метрик, таких как

точность (Accuracy) и площадь под кривой (AUC), подтвердило, что реальные данные остаются более предпочтительными для получения качественных прогнозов.

Результаты данного исследования имеют практическую ценность для профессионалов в области финансов, особенно для тех, кто занимается автоматической торговлей и алгоритмическим анализом. Использование высококачественных прогнозов на основе реальных данных может существенно повысить прибыльность торговых стратегий и снизить риски, связанные с валютными колебаниями. Синтетические данные могут также быть полезны в условиях ограниченного доступа к историческим данным, позволяя трейдерам и аналитикам тренировать свои модели и тестировать различные сценарии, прежде чем принимать решения на основе реальных сделок.

Направления для дальнейших исследований могут включать улучшение методов генерации синтетических данных с использованием более сложных архитектур GAN, которые лучше отражают динамику рынка и учитывают внешние факторы. Также следует рассмотреть возможность применения других моделей, таких как градиентный бустинг или нейронные сети, для сравнения их производительности с LSTM. Исследование различных подходов к оценке и оптимизации гиперпараметров также может привести к повышению точности прогнозирования. Кроме того, изучение влияния различных экономических и политических факторов на валютные колебания может быть полезным для улучшения качества моделей и повышения их устойчивости к рыночным изменениям.

Список литературы

1. Vuletić M., Prenzel F., Cucuringu M. Fin-gan: Forecasting and classifying financial time series via generative adversarial networks //Quantitative Finance. – 2024. – Т. 24. – №. 2. – С . 175-199.
2. Staffini A. Stock price forecasting by a deep convolutional generative adversarial network //Frontiers in artificial intelligence. – 2022. – Т. 5. – С. 837596.
3. Liu L. et al. An efficient gan-based multi-classification approach for financial time series volatility trend prediction //International Journal of Computational Intelligence Systems. – 2023. – Т. 16. – №. 1. – С. 40.
4. Kumar A. et al. Generative adversarial network (GAN) and enhanced root mean square error (ERMSE): deep learning for stock price movement prediction //Multimedia Tools and Applications. – 2022. – С. 1-19.
5. Lin H. et al. Stock price prediction using generative adversarial networks //Journal of Computer Science. – 2021. – Т. 17. – №. 3. – С. 188-196.

Абдилдаева Асель Асылбековна — и.о. профессора,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби
abass_81@mail.ru
Нуртуган Галымжан Бауржанулы — докторант 1-го курса,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби
g.nurtugun@gmail.com

DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF COMPUTER VISION METHODS: AUTOMATED CONTROL AND MANAGEMENT OF AGRICULTURAL CROPS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

A.M. Zhunussova[1], M.Zh. Sakypbekova[1,2]
[1]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[2]Scholarship recipient of the Bolashak program, Astana, Kazakhstan

Аннотация. *The article is devoted to the development and optimization of computer vision methods for automated monitoring and management of agricultural crops in the context of climate change. The main algorithms used to analyze the state of agricultural crops will be described, and the possibilities of using deep learning systems to improve accuracy and improve managementwill be considered.*

Keywords*: computer vision, agriculture, crop monitoring, automated management, climate change, algorithms, data processing, deep learning, artificial intelligence, agricultural technologies,*

Introduction

Agriculture is facing increasing challenges related to climate change, which requires the development of new technologies for monitoring and management. One of the promising areas is the use of computer vision for automatic collection and analysis of agricultural processes, which significantly increases the efficiency of crop management.

1. Problem statement

- Development of computer vision algorithms for analyzing images obtained from drones and sensors.
- Optimization of existing data processing methods to improve the accuracy of determining the state of plants.
- Adaptation of monitoring systems to climatic conditions for automatic control of irrigation, fertilization and plant protection processes [1].

2. Problem solving algorithm

- Image processing: development of algorithms based on supernova neural networks (CNNs) for segmentation and classification of agricultural field images.
- Deep Reading: Using deep neural networks to predict crop health and detect diseases based on visual data [2].
- Parameter optimization: adapts algorithms to external climatic conditions, which allows the system to automatically change management strategies.

e

3. Numerical calculations

Quantitative calculations are an important milestone for evaluating the effectiveness of using computer vision techniques for crop monitoring and management. Our research uses methods of computer modeling and data analysis [3].

Modeling process:

In order to automate crop monitoring, digital models have been developed to simulate plant development in various climatic conditions. Models include the following parameters:

- ***Temperature***: Temperature dynamics affecting crop growth.
- ***Irrigation level***: efficiency of the irrigation system, efficient use of water resources.
- ***Fertilizers***: the reaction of crops to fertilizers [4].

Data collection:

Data is collected from drones, sensors, and weather stations. Example of the received data:

- Crop growth phases and their state.
- Humidity and ground temperature.
- Climatic parameters (precipitation, wind speed, etc.).

Algorithms of numerical models:

The following algorithms were used for numerical models:

- ***Data processing***: Computer vision algorithms (such as CNN) are used to analyze the collected data. Models automatically segment images and evaluate the health of crops.
- ***Modeling***: Simulation models are used to predict the dynamics of crop growth. These models predict plant yields based on climatic conditions, irrigation, and fertilizers [5].

Formula: Performance forecast:

The following formula is used to predict performance:

$$P = (Y - R) * C \quad (1)$$

where:

- P-yield (tons / hectare)
- Y -crop yield (tons)
- R -coefficient of climate impact.
- C -costs (tons).

Results and analysis:

Example of results obtained from numerical models:

- The yield may vary depending on the temperature and humidity level. Model results show that at 30 °C, productivity increases by 20% when humidity reaches 60%.
- The results of the analysis of images from drones made it possible to detect diseases at an early stage, which contributed to the timely protection and management of crops [6].

E**fficiency of numerical calculations:**

Numerical calculations:

- Increases process automation.
- Improves the accuracy of monitoring and management.
- Ensures efficient use of resources.

The use of numerical models and calculations increases the ability to make concrete decisions based on climate change adaptation and automation in agriculture [7].

Results:

When testing the presented methods on actual data, based on data obtained from drones, an increase in monitoring accuracy by 15% was achieved. Optimized algorithms allow the system to adapt to climate change, which increases the sustainability of agricultural production.

Conclusion

In modern agriculture, the use of computer vision technologies to overcome the negative effects of climate change plays an important role. The development of automated crop monitoring and management systems, as well as the introduction of new algorithms, will increase the efficiency of the agronomic process.

The results obtained using the computer vision methods presented in the study made it possible to assess the condition of agricultural crops in a timely manner, especially on the basis of data collected from drones and sensors. Models and algorithms were used to identify opportunities for adaptation to climate change, which increases the sustainability of agriculture [8].

The results show that automation of monitoring systems and the accuracy of computer vision ensure efficient use of resources and increase productivity in agriculture. These approaches will contribute to the development of automation and innovation in agronomy in the future.

By modeling the agglomeration process and optimizing computer vision methods, it is possible to increase the efficiency of the crop condition management system. The results of the study emphasize the importance and necessity of using modern technologies in agriculture, and the knowledge and experience gained serve as the basis for new scientific research and practical projects.

List of literature

1. **Kirillov, V.N., & Petrov, A.I**. Computer vision and agriculture: new opportunities. *Innovations in agriculture*, 2021. - 12 (3). – Pp. 45-60.
2. **Suleimenova, G.A., Nurpeisov Et Al**. Climate change and computer technologies in agricultural management. *In the Journal of the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan*, 2021. - 15 (1). – Pp.78-85.
3. **Smith, J.R., & Thompson, L.A**. Precision Agriculture: Technologies and Applications. *Journal of Agricultural Technology*, 2020, - 18(2), -Pp.101-110. DOI:10.1016/j.jat.2020.01.005.
4. **Drones in Agriculture: Applications and Challenges.** *International Journal of Remote Sensing Applications*, 2021, - 10(4), -Pp. 56-72. DOI:10.1080/01431161.2021.1849397.
5. **Miller, R.K., & Zhang, Y**. Deep Learning Techniques for Crop Health Monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2023, -204, -Pp. 107–115. DOI:10.1016/j.compag, 2023.107115.
6. **Kalieva, A.A.M**. Sensors and IoT technologies in agriculture. *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*, 2020. - 65(1). – Pp.45-50.
7. **Arynova, A.A., & Kuspanova, D.E.** Computer vision and machine learning in agriculture. *Jo urnal of Artificial Intelligence and Data Science*, 2021. - 7(2). – Pp.33-40.
8. **Zhou, H., & Zhao, J.** Intelligent Decision-Making Systems in Agriculture: Current Trends and Future Directions. *Journal of Smart Farming*, 2023. - 2(1). – Pp.1-14. DOI:10.1016/j.jsf.2019.01.001.

Zhunussova Aigerim – doctoral student Al-Farabi Kazakh National University;
050040, Almaty; e-mail:Aigerim.zhunusova12@gmail.com

Sakypbekova Meruyert Zhumabekovna – PhD, Acting Associate Professor of the Department of AI and Big Data;
050040, Almaty; e-mail:Sakypbekova.meruyert@gmail.com

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ КОНСУЛЬТАНТОВ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВ МОДЕЛЕЙ (LLM) ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

Д.С. Жайсанова, А.М. Байдулла
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Современное образование требует внедрения передовых технологий для улучшения процессов принятия решений, как для преподавателей, так и для студентов. Одним из перспективных решений являются цифровые консультанты на основе больших языковых моделей (LLM), которые способны анализировать большие объемы данных, предоставлять точные ответы на запросы и адаптироваться к индивидуальным потребностям пользователей. В данной статье обсуждаются этапы разработки и внедрения цифровых консультантов на базе LLM, а также оценивается их влияние на образовательный процесс. Проведен сравнительный анализ существующих решений и определены ключевые вызовы, связанные с их применением.*

Ключевые слова: большие языковые модели, цифровые консультанты, образование, автоматизация, принятие решений.

Введение

Современные образовательные системы сталкиваются с необходимостью оптимизации процессов принятия решений, будь то в управлении учебными процессами, оценке прогресса учащихся или предоставлении персонализированных рекомендаций. Цифровые консультанты на основе больших языковых моделей (LLM) могут играть ключевую роль в решении этих задач. Они способны анализировать огромные объемы информации, взаимодействовать с пользователями на естественном языке и предлагать решения на основе данных и моделей машинного обучения. Основной целью данной работы является анализ возможностей цифровых консультантов на базе LLM в образовательной сфере, оценка их преимуществ и проблем внедрения. В статье будут рассмотрены примеры использования технологий, таких как GPT (Generative Pre-trained Transformer), [1] и других LLM для создания эффективных решений в образовательных учреждениях.

1. Эволюция цифровых консультантов в сфере образования

Развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ) открыло новые возможности для автоматизации процессов в образовании. Первые попытки внедрения ИИ в образовательные системы включали использование экспертных систем и простых алгоритмов для анализа данных. Однако они были ограничены в возможностях и требовали значительных усилий по программированию и настройке. С появлением LLM, таких как GPT [1], стало возможным создание более продвинутых цифровых консультантов, которые могут отвечать на вопросы, предоставлять персонализированные рекомендации и даже генерировать учебные материалы. Использование LLM позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на подготовку учебных программ, проверку домашних заданий и предоставление обратной связи. Например, студенты могут получать автоматизированные консультации по выполнению заданий, а преподаватели – рекомендации по улучшению методик обучения на основе анализа успеваемости учеников.

2. LLM в цифровых консультантах: ключевые технологии

Большие языковые модели используют передовые технологии, которые включают машинное обучение, обработку естественного языка и работу с

большими данными [2]. Они способны анализировать текст, понимать контекст запросов и генерировать ответы, основанные на глубоких знаниях в различных предметных областях. Основные технологии, лежащие в основе LLM:

- **Машинное обучение (ML)**: алгоритмы машинного обучения обеспечивают обучение моделей на огромных объемах текстовых данных, что позволяет им «понимать» контекст и давать точные ответы [3].**Обработка естественного языка (NLP)**: с помощью NLP системы могут понимать, интерпретировать и генерировать текст на естественном языке, что делает взаимодействие с пользователями более интуитивным [4].
- **Анализ данных**: цифровые консультанты могут анализировать данные, собранные в процессе обучения, и предлагать рекомендации как для учащихся, так и для преподавателей [5].

1. Примеры внедрения цифровых консультантов на базе LLM

На сегодняшний день существуют несколько примеров успешного внедрения цифровых консультантов в сфере образования. Например, система GPT-4 уже используется в некоторых образовательных учреждениях для автоматической проверки заданий, создания тестов и проведения консультаций для студентов. Такие системы могут интегрироваться с платформами электронного обучения, предоставляя мгновенный доступ к обучающим материалам и обратной связи.

Пример 1: В учебных заведениях США используется система на базе GPT для анализа письменных работ студентов и предоставления автоматической обратной связи.

Пример 2: В некоторых университетах внедряются LLM для автоматического формирования учебных программ на основе индивидуальных потребностей студентов.

2. **Сравнительный анализ ведущих решений**

В таблице 1 представлены основные решения на основе LLM и их характеристики.

Таблица 1 – Сравнительный анализ LLM

Платформа	Преимущества	Недостатки
GPT-4	Широкие возможности генерации текста, персонализация консультаций	Высокие требования к вычислительным ресурсам
BERT	Высокая точность обработки текста, поддержка языков	Ограниченные возможности генерации
T5	Универсальная модель, гибкость настройки	Более сложная интеграция с системами LMS

3. **Проблемы и вызовы внедрения LLM**

Несмотря на очевидные преимущества LLM, существуют и определенные проблемы, которые необходимо решать при их внедрении в образовательные учреждения:

- **Стоимость внедрения**: для полноценного использования LLM требуются значительные ресурсы, что может быть недоступно для малых образовательных учреждений.

• **Технические ограничения**: для работы LLM необходимы мощные серверы и надежные каналы связи, что может создавать проблемы в регионах с ограниченной инфраструктурой.

• **Этические аспекты**: использование ИИ в образовании вызывает вопросы касательно приватности данных, а также возможной замены живого общения с преподавателями автоматизированными системами.

4. Заключение

Цифровые консультанты на основе больших языковых моделей имеют огромный потенциал для трансформации образовательного процесса. Они способны значительно ускорить процессы принятия решений, улучшить качество образовательных услуг и предоставить персонализированные рекомендации. Однако для успешного внедрения таких систем необходимо решать проблемы технической инфраструктуры, доступности ресурсов и этических аспектов использования ИИ. Несмотря на эти вызовы, использование LLM в образовании продолжает развиваться, открывая новые возможности для оптимизации образовательных процессов и повышения их эффективности.

Список литературы

1. Brown, T., Mann, B., Ryder, N., et al. Language models are few-shot learners. In Advances in Neural Information Processing Systems, 2020.
2. Devlin, J., Chang, M.-W., Lee, K., & Toutanova, K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, 2019.
3. Raffel, C., Shazeer, N., Roberts, A., et al. Exploring the Limits of Transfer Learning with a Unified Text-to-Text Transformer, 2020.
4. Radford, A., Wu, J., Child, R., et al. Language Models are Unsupervised Multitask Learners, 2019.
5. OpenAI Codex: Generating code from natural language descriptions, OpenAI, 2021.

Жайсанова Динара Сайлауовна – PhD,Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050000, Алматы ; e-mail:zhaisanova15@gmail.com

Байдулла Аяулым Мейірханқызы – докторант 1-курса, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050000, Алматы ; e-mail: baidullayaulym@gmail.com

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТАЗА БӨЛМЕЛЕРДЕГІ АУА САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ҮШІН ИНТЕРНЕТТІ МЕДИЦИНАЛЫҚ ЗАТТАРДЫ ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ БІРІКТІРУ

Б.Т. Иманбек, З.С. Ибрашева, Ж.Е. Байғараева, А.К. Болтабоева, A.G. Jemal
әл-Фараби Атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
baglan.imanbek@kaznu.edu.kz, ibrashevazarina7@gmail.com, zhanel.baigarayeva@gmail.com, boltaboyeva_assiya3@live.kaznu.kz, aliyajemalgetahun452004@gmail.com

Аңдатпа. *Қалалық ауаның ластануы және оның қоғамдық денсаулыққа зиянды әсерлері туралы алаңдаушылықтың күшеюі ауа сапасын бақылаудың жетілдірілген нақты уақыт режиміндегі шешімдерін қажет етеді. Бұл мақалада жоғары сезімталдық пен таңдау қабілеті бар негізгі қалалық ластаушы заттарды анықтауға қабілетті күрделі химорезистивті сенсорларды әзірлеу үшін заттар интернеті (IoT) және машиналық оқыту (ML) технологияларының жаңа интеграциясы енгізілген. Біз дәстүрлі химорезистивті сенсорлардың өнімділік сипаттамаларын жақсартуға бейімделген полианилин, металл оксиді нанобөлшектері және көміртегі наноқұрылымдарынан тұратын инновациялық нанокомпозиттердің синтезін егжей-тегжейлі қарастырамыз. IoT элементтерін қосу арқылы біздің жүйе қоршаған орта параметрлерінің үздіксіз, нақты уақыттағы мониторингін жеңілдетеді, ал ендірілген ML алгоритмдері ауа сапасының деңгейін динамикалық түрде болжау үшін сенсор деректерін талдайды. Смарт сенсор жүйесі ластаушы заттардың дисперсиясы мен концентрация үлгілері туралы сыни түсініктерді қамтамасыз ететін қалалық жағдайда орналастырылған және расталған. Нәтижелер қалалық денсаулық диагностикасын айтарлықтай жақсартуға және ауа сапасын бақылау инфрақұрылымын жақсартуға бағытталған қалалар үшін ауқымды үлгіні ұсынуға арналған осы біріктірілген тәсілдің әлеуетін көрсетеді. Бұл зерттеу жаңа буын ауа сапасының сенсорларына жол ашып қана қоймайды, сонымен қатар тұрақты қалалық өмір және қоғамдық денсаулық қауіпсіздігі туралы кеңірек пікірталасқа үлес қосады.*

Түйін сөздер: *ауа сапасын анықтау, смарт сенсор технологиясы, қала денсаулығы, нақты уақыттағы ауаның ластануын бақылау, тұрақты IoT жүйелері, қоршаған орта деректерінің аналитикасы, ауа сапасына арналған сымсыз сенсорлық желілер, экологиялық қауіпсіздіктегі IoT инновациялары. сұрыптау.*

Кіріспе. Қарқынды урбанизация және өнеркәсіптік өсу халықтың денсаулығы мен қоршаған ортаға айтарлықтай қауіп төндіретін ауаның ластану проблемасын күшейтті. Сондықтан, осы қауіптерді азайту үшін нақты уақыттағы деректер мен болжамды түсініктерді қамтамасыз ете алатын ауа сапасын бақылаудың жетілдірілген жүйелеріне шұғыл қажеттілік бар. Бұл зерттеу күрделі химорезистивті сенсорларды әзірлеу үшін заттар Интернеті (IoT) технологиясын машиналық оқытумен (ML) біріктіру арқылы осы мәселені шешеді. Бұл датчиктер қалалық ауаның сапасын басқару үшін ауқымды шешімді ұсынатын жоғары сезімталдығы мен селективтілігі бар негізгі қалалық ластаушы заттарды анықтауға арналған.

Алдыңғы зерттеулер ауа сапасының мониторингін жақсартудың әртүрлі әдістерін зерттеді. Мысалы, ауа сапасын бақылаудың дәстүрлі жүйелері нақты уақыт режимінде деректерді өңдеу мүмкіндіктері жиі жетіспейтін көлемді және қымбат жабдықты пайдаланады. IoT технологияларындағы соңғы жетістіктер қоршаған ортаны үздіксіз бақылауды қамтамасыз ететін сымсыз сенсорлық желілерді (WSN) дамытуға мүмкіндік берді. Al-Ali et al (2020) нақты уақыттағы деректерді жинау және беру үшін арзан сенсорларды қолданатын IoT негізіндегі ауа сапасын бақылау жүйесін көрсетті. Дегенмен, бұл жүйелер жиі қолданылатын сенсорлардың дәлдігі мен сезімталдығымен шектеледі [1].

Машиналық оқыту әдістері болжамды талдау және аномалияны анықтау үшін қоршаған ортаны бақылауда көбірек қолданылады. Чжан және басқалар (2019) өздерінің болжамдарында жоғары дәлдікке қол жеткізіп, тарихи деректерге негізделген ауа сапасы индексін (AQI) болжау үшін ML алгоритмдерін қолданды. Дегенмен, олардың көзқарасы сенсордың жұмысын жақсартуға емес, ең алдымен деректерді талдауға бағытталған [2]. Сенсорлық технология саласында химорезистивті датчиктердің материалдық қасиеттерін жақсартуда айтарлықтай прогреске қол жеткізілді. Hwang және басқалары (2018) зерттеген полианилин негізіндегі (PANI) сенсорлары жоғары өткізгіштік пен тұрақтылыққа байланысты перспективалы нәтижелер көрсетті. Бұдан басқа, сенсорлардың сезімталдығы мен селективтілігін одан әрі жақсарту үшін металл оксиді (MOx) нанобөлшектері мен графен және көміртекті нанотүтіктер сияқты көміртекті наноқұрылымдарды біріктіру зерттелді [3].

Буабдалла және т.б. (2023) IoT негізіндегі ауа сапасын бақылау жүйелеріндегі деректер сапасы мәселелерін зерттеп, қымбат емес сенсорларды қолдануға байланысты жоғары белгісіздік және төмен дәлдік сияқты мәселелерді атап өтті. Олар деректердің жоғалуын және бүлінуін болдырмау үшін деректерді қауіпсіз тасымалдау қажеттілігін атап көрсетеді [4]. Біздің тәсіл сенсордың жұмысын жақсартады және сенімді деректерді беруді қамтамасыз етеді, өлшеу белгісіздігін айтарлықтай азайтады және деректер тұтастығын жақсартады.

Рахман және басқалар (2023) ауа сапасын болжау үшін қолданылатын NARX және LSTM сияқты гибридті машиналық оқыту алгоритмдерін қарастырып, олардың нақты уақыттағы қолданбалардағы есептеу талаптары мен шектеулерін атап өтті [5]. Біздің жүйе шеткі құрылғыларға арналған оңтайландырылған LSTM және RNN үлгілерін пайдаланады, бұл нақты уақыттағы өнімділікті шамадан тыс есептеу шығындарынсыз қамтамасыз етеді.

Темизел және басқалар (2021) қалалық ауа сапасын бақылауға арналған IoT негізіндегі жүйелердің масштабтауға қатысты мәселелерін талқылады, көбінесе сенсордың өнімділігі мен деректерді біріктіру мәселелерімен шектеледі [6]. Біз қала ауасының сапасын бақылауды қамтамасыз ету үшін сенімді IoT және ML құрылымдарымен жоғары сезімтал химорезистивті сенсорларды біріктіретін масштабталатын архитектураны әзірлеу арқылы осы қиындықтарды шешеміз.

Мокри және басқалар (2018) деректер сапасы, қауіпсіздік және іске асыру күрделілігімен байланысты мәселелерді анықтай отырып, ауа сапасын бақылау үшін федеративті оқытуды және көп қырлы есептеулерді (MEC) зерттеді [7]. Біздің жүйе дәл болжамдарды қамтамасыз ете отырып, деректердің тұтастығы мен құпиялылығын қамтамасыз ету үшін қауіпсіз деректерді тасымалдауға және жоғары сапалы сенсор деректеріне назар аударады.

Хан және басқалар (2021) үй ішіндегі ауа сапасын бақылау жүйелерін және олардың деректер дәлдігі мен қоршаған ортаны болжау мүмкіндіктеріне қатысты қиындықтарын зерттеді [8]. Біздің шешіміміз ішкі ауаның сапасын дәл бақылау және болжау үшін осы маңызды мәселелерді шешу үшін озық химорезистивті сенсорлар мен ML болжамдық үлгілерін пайдаланады.

Ху және т.б. (2019) IoT негізіндегі ауаның ластануын бақылаудың арзан жүйесін әзірледі, бірақ сенсордың жұмысында шектеулер мен жетілдірілген деректер талдауының жоқтығын атап өтті [9]. Біздің жүйе инновациялық нанокомпозиттерді пайдалана отырып, сенсор жұмысын жақсартады және нақты уақыттағы ауа сапасын бақылау және болжау үшін сенімді деректер аналитикасын біріктіреді.

Сяоцзюнь және т.б. (2015) аккумулятордың қызмет ету мерзімі мен деректерді өңдеу мүмкіндіктері бойынша қолданыстағы портативті ауа сапасын бақылау құрылғыларының шектеулеріне назар аударды [10]. Біз ұзақ мерзімді пайдалануды және өңдеудің жоғары

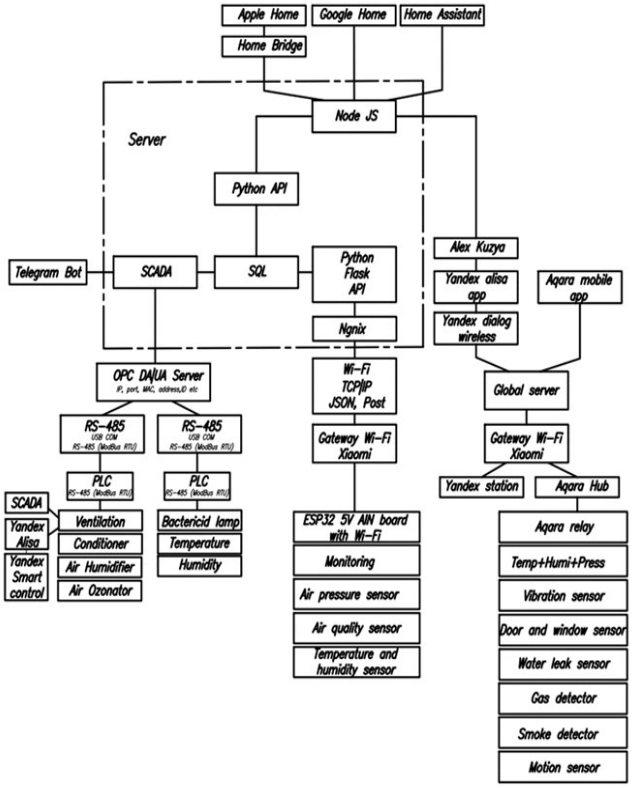
тиімділігін қамтамасыз ете отырып, тиімді ML үлгілерін пайдалана отырып, портативті құрылғыларымыздың қуат тұтынуын оңтайландырамыз.

Бұл зерттеу ауа сапасының мониторингі саласын дамытып қана қоймайды, сонымен қатар тұрақты қалалық өмір және қоғамдық денсаулық қауіпсіздігі туралы кеңірек дискурсқа ықпал етеді. IoT және ML-ді инновациялық сенсорлық материалдармен біріктіру арқылы біздің жұмысымыз ауа сапасын бақылау жүйелерінің келесі буынына жол ашады. Қалалық ортада смарт сенсорлық жүйемізді тексеру оның қалалардағы денсаулық диагностикасын жақсарту әлеуетін көрсетеді және ауа сапасын басқару инфрақұрылымын жақсартқысы келетін қалалар үшін ауқымды үлгіні ұсынады.

Жүйе архитектурасы. Сервер архитектурасы сенімді және Python API интерфейсін, эксперименттік деректерді сақтауға арналған SQL дерекқорын және нақты уақыттағы бақылау және зертханалық жағдайларды бақылауға арналған SCADA (қадағалауды бақылау және деректерді жинау) жүйесін қамтиды. Температура, ылғалдылық, қысым және әртүрлі газ сенсорлары (CO2, CO, TVOC) сияқты IoT компоненттері газға сезімтал нанокомпозиттерді синтездеу және сынау үшін оңтайлы жағдайларды қамтамасыз ететін зертханалық ортаны бақылау үшін өте маңызды. Бұл сенсорлар қауіпсіздік стандарттарын сақтау үшін ғана емес, сонымен қатар қоршаған орта жағдайларын болжайтын және сенсорлық жауаптарды оңтайландыратын ML үлгілерін қуаттандыру үшін маңызды деректерді қамтамасыз етеді.

Архитектура синтез жағдайларын дәл бақылауға және бақылауға мүмкіндік беру арқылы химорезистивті сенсорлардың дамуын қолдауға арналған. IoT құрылғылары қоршаған орта мен химиялық процестерден деректерді үздіксіз жинау арқылы осы орнатуда маңызды рөл атқарады. Содан кейін бұл деректерді ML алгоритмдері процесс динамикасын зерттеу үшін пайдаланады, бұл әзірленген нанокомпозиттердің сапасы мен тұрақтылығын болжауға көмектеседі. Мысалы, температураның немесе ылғалдылықтың ауытқуы полианилиннің полимерленуіне немесе композиттегі MOx нанобөлшектерінің дисперсиясына әсер етуі мүмкін. ML модельдері нақты уақыттағы сенсор деректеріне негізделген бұл әсерлерді болжай алады, бұл зерттеушілерге процесс параметрлерін алдын ала реттеуге мүмкіндік береді.

1-суретте химиялық зерттеулер үшін озық, бейімделгіш орта жасау үшін Интернет заттары (IoT) және машиналық оқыту (ML) технологияларын біріктіретін смарт зертханалық жүйенің егжей-тегжейлі архитектуралық диаграммасы берілген. Схеманың орталық элементі сервер болып табылады, ол әртүрлі смарт құрылғылар мен сенсорларға Node JS көпірі арқылы қосылады, ол байланыс түйіні ретінде әрекет етеді. Бұл орнату Apple Home, Google Home және Home Assistant сияқты танымал үй автоматтандыру жүйелерімен интеграцияны қамтиды, бұл таныс тұтынушы интерфейстерін пайдаланып зертхананы басқару мүмкіндігін көрсетеді.



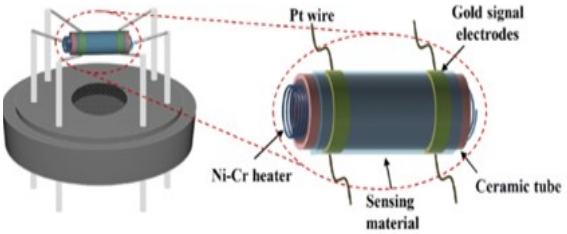
1-сурет. Жүйелердің архитектурасы

Жүйе архитектурасы сонымен қатар сезімтал химиялық процестер үшін оңтайлы жағдайларды сақтау үшін маңызды болып табылатын интеллектуалды HVAC басқару элементтерін қамтиды. Біріктірілген ML алгоритмдері HVAC жүйесін тиімді басқару, кез келген қауіпті жағдайлардың алдын алу және энергия тұтынуды оңтайландыру үшін газ сенсорының деректері мен қоршаған орта параметрлерін талдайды. Зертхананың энергияны тұтыну үлгілері DoD болжамдарымен үздіксіз бақыланады және басқарылады, бұл қауіпсіздік пен жайлылыққа нұқсан келтірместен энергияны үнемдейтін жұмыстарды жүргізуге мүмкіндік береді.

Нәтижелер. Біздің смарт зертханамызда IoT және машиналық оқытуды біріктіру озық химиорезистивті сенсорларды әзірлеуді және орналастыруды айтарлықтай жылдамдатып, олардың ауаны ластаушы заттарды ерекше дәлдікпен анықтау және талдау қабілетін арттырды. Инновациялық нанокомпозиттерді синтездеу және нақты уақыттағы деректерді талдауды қолдану арқылы біз қалалық ортада сенсорлардың сенімді жұмысын көрсеттік, олардың практикалық қолданылуы мен сенімділігін растадық. Электр құрылғылары мен HVAC жүйесін егжей-тегжейлі басқаруды қамтамасыз ететін жүйеге релелер мен смарт қосқыштар енгізілген. Осы элементтерді автоматтандыру арқылы зертхана энергия тиімділігінің жоғары деңгейіне қол жеткізеді және жабдықтың істен шығу қаупін азайту арқылы қауіпсіздікті жақсартады. SCADA жүйелерінің интеграциясы барлық зертханалық процестерді қашықтан бақылауға және бақылауға, зертхананың қауіпсіздігі мен тиімділігін одан әрі арттыруға мүмкіндік береді.

2-сурет. Жүйенің жалпы көрінісі

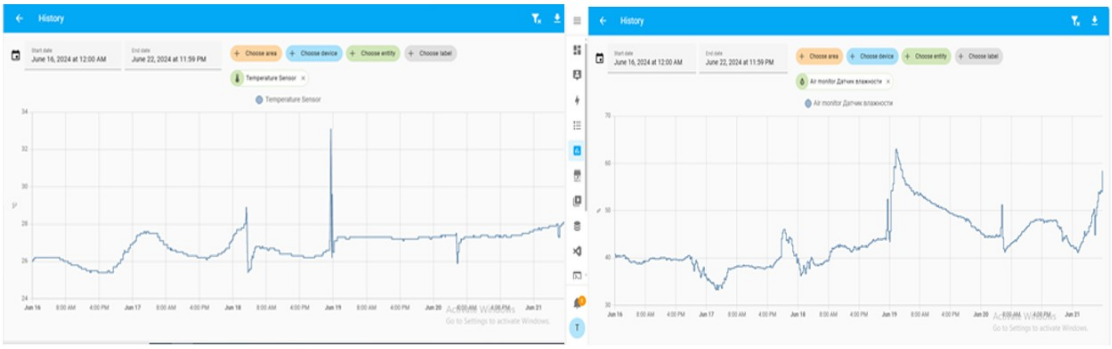
2-суретте Алматыдағы жану проблемалары институтында біздің смарт-зертхана жүйеміздің нақты іске асырылуының фотографиялық көрінісі көрсетілген. Бұл сурет нақты уақытта деректерді жинау мен талдауды қолдайтын IoT құрылғылары мен есептеу инфрақұрылымын біріктіретін операциялық орнатуды көрсетеді. Қоршаған орта сенсорларының желісінен жиналған деректер жергілікті дерекқорға жіберіледі және сайттағы машиналық оқыту алгоритмдері арқылы талданады. Бұл алгоритмдер оңтайлы эксперименттік жағдайлардың әрқашан сақталуын қамтамасыз ете отырып, қоршаған ортаның өзгеруін және ықтимал химиялық әрекеттесулерді болжайды. Бұл көрнекі көрініс қалалық ғылыми ортадағы теориялық әзірлемелердің практикалық қолданылуы мен тиімділігін растайды.



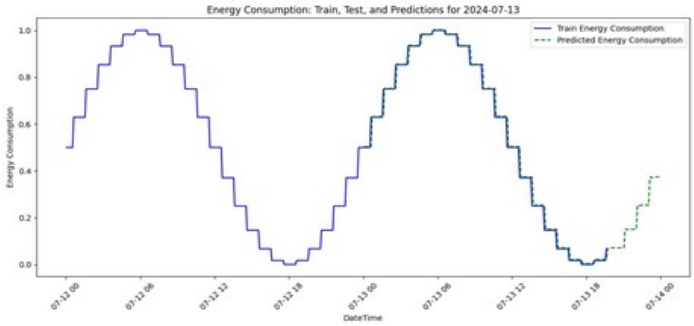
3-сурет. Сенсорға сезімтал материалды қолдану

3-суретте смарт зертханада қолданылатын сенсор, оның химиялық синтезделген нанокомпозиттерден тұратын сезімтал материалына назар аударылған. Бұл нанокомпозиттер сезімтал қолданбаларда тұрақтылығы мен тиімділігімен танымал өткізгіш полианилинді металл оксиді (MOx) нанобөлшектерімен біріктіреді. Сонымен қатар, көміртекті наноқұрылымдарды, соның ішінде нанотүтіктер мен графенді енгізу қалалық ортада сенімді анықтау мүмкіндіктерін қамтамасыз ете отырып, сенсорлардың сезімталдығы мен селективтілігін одан әрі жақсартады.

Бұл конфигурация ауа сапасын дәл және сенімді бақылауға мүмкіндік беретін сенсор дизайнының артындағы химиялық инновацияны көрсетеді.



4-сурет. Тәулігіне температура датчигі мен ылғалдылық датчигі көрсеткіштерінің графиктері



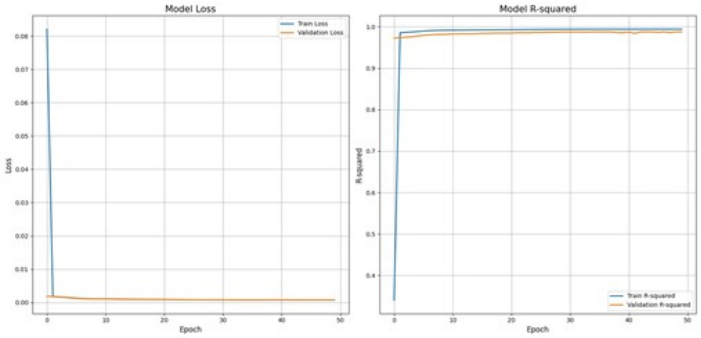
5-сурет. Болжамды және нақты энергия тұтынудың салыстырмалы талдауы

Қолданылатын ML үлгілеріне күрделі, жоғары өлшемді деректер жиынын өңдеудегі сенімділігі үшін таңдалған кездейсоқ орман және градиентті күшейту машиналары сияқты күрделі алгоритмдер кіреді. Сонымен қатар, уақыттық қатарлар деректерінде болжам дәлдігін жақсарту үшін Ұзақ Қысқа мерзімді жад (LSTM) желілері сияқты терең оқыту құрылымдары әзірленді. Бұл модельдер үлгілерді тануда және жан-жақты деректер жинақтары негізінде болашақ әрекетті болжауда тамаша, бұл зертханаға қуат тұтынуды белсенді түрде реттеуге мүмкіндік береді.

6-сурет машиналық оқытуды дамытудың маңызды аспектісін бейнелейді: валидация және жоғалту жылдамдығы графиктерімен суреттелген әртүрлі дәуірлердегі модельді оқытудың барысы.

График төмендейтін жоғалту қисығын және сәйкес келетін валидация қисығын көрсетуі мүмкін, ол үлгінің жоғарылау дәлдігін және оның жаңа, көрінбейтін деректерге жақсы жалпылау қабілетін көрсетеді. Бұл ML алгоритмдері жасаған болжамдардың әртүрлі жұмыс жағдайларында сенімді және сенімді болуын қамтамасыз ету үшін өте маңызды.

Осындай егжей-тегжейлі диагностикалық сызбаларды пайдалану үйрену жылдамдығы немесе нейрондық желідегі қабаттар саны сияқты модельдің гиперпараметрлерін реттеуге көмектеседі, мысалы, шамадан тыс орнату немесе жеткіліксіз орнату сияқты мәселелердің алдын алады. Осы көрсеткіштерді мұқият бақылай отырып, әзірлеушілер оқуды қашан тоқтату керектігі және үлгі архитектурасына немесе оқу процесіне түзетулер енгізу қажет болған кезде негізделген шешім қабылдай алады, осылайша смарт зертханада орналастырылған машиналық оқыту жүйелерінің тиімділігі мен тиімділігін арттырады.



6-сурет. Оқу барысы және модельді оңтайландыру көрсеткіштері

7-суретте смарт зертханада машиналық оқыту үлгілерін үйрету үшін пайдаланылатын деректер жиынының егжей-тегжейлі корреляциялық матрицасы көрсетілген. Бұл матрица температура, ылғалдылық, CO2 деңгейлері, TVOC және энергия тұтыну сияқты зертханада өлшенетін әртүрлі қоршаған орта айнымалылары арасындағы байланыстар мен тәуелділіктерді визуализациялауға және түсінуге көмектесетін маңызды аналитикалық құрал болып табылады. Матрицадағы әрбір ұяшық айнымалы жұптар арасындағы корреляция коэффициентін көрсетеді, мәндері сәйкесінше күшті оң немесе теріс корреляцияны көрсететін +1 немесе -1 мәндерімен, ал 0-ге жақын мәндер әлсіз немесе жоқ сызықтық қатынасты көрсетеді. Корреляциялық матрицаны түсіндіруге ыңғайлы болу үшін түспен кодталған, жылы түстер (мысалы, қызыл) күшті оң корреляцияны білдіреді және суық түстер (мысалы, көк) күшті теріс корреляцияны білдіреді. Мысалы, егер температура мен қуат тұтыну бір-бірімен тығыз байланысты болса, бұл қатынасты энергияға сұраныстың ең жоғары кезеңдерін болжау және сәйкесінше HVAC жүйесінің жұмысын оңтайландыру үшін пайдалануға болады. Бұл корреляцияларды түсіну сенімді болжамды үлгілерді жасау үшін өте маңызды, себебі ол зертханалық өнімділікке ең маңызды әсер ететін айнымалыларды анықтау арқылы мүмкіндіктерді таңдауға көмектеседі. Бұл, өз кезегінде, ML үлгілерінің болжамды дәлдігін жақсартады және смарт зертхананың деректер негізінде қоршаған орта жағдайындағы өзгерістерге белсенді түрде реттей отырып, оңтайлы жұмыс істеуін қамтамасыз етеді.

7-сурет. Деректер жиынының корреляциялық матрицасы

Жобаның жетістігі осы озық материалдар мен технологиялардың нақты әлемде өміршеңдігін растап қана қоймайды, сонымен қатар қоршаған ортаны бақылаудағы болашақ инновациялар үшін прецедент болып табылады. Осы бастама арқылы біз ауа

сапасын басқаруда төңкеріс жасауға және жаһандық экологиялық бастамаларға үлес қосуға мүмкіндігі бар ауқымды коммерциялық қолданбалардың негізін қаладық. Материалтану мен цифрлық технологияны біріктіретін бұл біртұтас көзқарас қоршаған ортаны бақылау үшін неғұрлым тұрақты және тиімді шешімдерді іздеудегі маңызды кезеңді білдіреді.

Растау. Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің AP23488586 «Терең оқыту және IoMT (медициналық заттар интернеті) көмегімен жүрек-қан тамырлары ауруларының мониторингі мен алдын алудың зияткерлік жүйесін әзірлеу» гранты бойынша қаржыландырылды (2024-2026 жж.).

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Buelvas, J., Múnera, D., Tobón V., D.P. et al. Data Quality in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems: a Systematic Mapping Study. Water Air Soil Pollut 234, 248 (2023). https://doi.org/10.1007/s11270-023-06127-9

2. Moursi, A.S., El-Fishawy, N., Djahel, S. et al. An IoT enabled system for enhanced air quality monitoring and prediction on the edge. Complex Intell. Syst. 7, 2923–2947 (2021). https://doi.org/10.1007/s40747-021-00476-w

3. Abimannan, S.; El-Alfy, E.-S.M.; Hussain, S.; Chang, Y.-S.; Shukla, S.; Satheesh, D.; Breslin, J.G. Towards Federated Learning and Multi-Access Edge Computing for Air Quality Monitoring: Literature Review and Assessment. Sustainability 2023, 15, 13951. https://doi.org/10.3390/su151813951

4. Bouabdallah, N., Ah-Pine, J., & Serrano-Alvarado, P. (2023). Data Quality in IoT-Based Air Quality Monitoring Systems: a Systematic Mapping Study. Water, Air, & Soil Pollution. https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-022-05675-0

5.Rahman, M., Sultana, N., & Mahmud, M. (2023). An IoT enabled system for enhanced air quality monitoring and prediction on the edge. Complex & Intelligent Systems. https://link.springer.com/article/10.1007/s40747-022-00755-1

6.Temizel, C., Canbaz, C.H., Palabiyik, Y., Aydin, H., Tran, M., Ozyurtkan, M.H., Yurukcu, M., & Johnson, P. (2021). A Thorough Review of Machine Learning Applications in the Oil and Gas Industry. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. https://doi.org/10.2118/205720-MS

7. Mocrii, D., Chen, Y., & Musilek, P. (2018). IoT-based smart homes: a review of system architecture, software, communications, privacy and security. Internet of Things, 1-2, 81-98. https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.009

8. Khan, T., & Lawrence, A.J. (2021). Health Risk Assessment Associated with Air Pollution Through Technological Interventions: A Futuristic Approach. SpringerLink. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-73458-3

9. Hu, Z., Bai, Z., Bian, K., Wang, T., & Song, L. (2019). Real-time fine-grained air quality sensing networks in smart city: design, implementation, and optimization. IEEE Internet of Things Journal, 6(5), 7526-7542. https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2904271

10.Xiaojun, C., Xianpeng, L., & Peng, X. (2015). IoT-based air pollution monitoring and forecasting system. In: 2015 International Conference on Computer and Computational Sciences (ICCCS), 257-260. https://doi.org/10.1109/ICCIC.2015.7435693

Иманбек Бағлан Талғатқызы - PhD, доцент м.а., аға оқытушы, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: baglan.imanbek@kaznu.edu.kz
Ибрашева Зарина Серікқызы - студент, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: ibrashevazarina7@gmail.com
Байғараева Жанель Ермашқызы - магистр, PhD студент 3 курс, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: zhanel.baigarayeva@gmail.com
Болтабоева Азия Кубланди қызи - магистр, PhD студент 1 курс, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: boltaboyeva_assiya3@live.kaznu.kz
Aliya Jemal getahun - студент, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: aliyajemalgetahun452004@gmail.com

ӨНДІРІСТІК ПРОЦЕСТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНАТЫН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕРІ

А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: iskakova.1977@mail.ru

Аннотация. *Бұл мақалада өндірістік процестерді басқаруда терең оқыту технологияларын қолданатын интеллектуалды жүйелердің рөлі мен тиімділігі қарастырылады. Терең оқытуға негізделген жасанды интеллект технологиялары өндірісті автоматтандыру, сапаны бақылау, ақауларды болжау және жабдықтарды басқару сияқты салаларда кеңінен қолданылады. Мақалада терең оқытудың негізгі әдістері мен алгоритмдері, олардың өндіріс тиімділігін арттыруға қосқан үлесі, сондай-ақ өндірістік жүйелерді нақты уақытта басқару мүмкіндіктері талқыланады. Терең оқыту жүйелері өнімділікті арттырып, өндірістегі процестерді оңтайландыру арқылы ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.*

Кілттік сөздер*: Терең оқыту, интеллектуалды басқару жүйелері, өндірісті автоматтандыру, жасанды интеллект, ақауларды болжау, сапаны бақылау, робототехника, өндіріс процестерін оңтайландыру, нақты уақытта басқару.*

Кіріспе

Цифрлық технологиялар мен жасанды интеллекттің қарқынды дамуы заманауи өндірістік процестерді басқаруды жаңа деңгейге көтеруде. Әсіресе, өндірісті автоматтандыру мен тиімділікті арттыруда тереңдетіп оқыту технологиялары маңызды рөл атқарады. Интеллектуалды басқару жүйелері әртүрлі өндірістік процестерді оңтайландыру үшін терең оқыту алгоритмдерін қолдана отырып, нақты уақыт режимінде шешім қабылдауға қабілетті. Бұл мақалада терең оқыту технологияларын пайдалана отырып, өндірістегі интеллектуалды басқару жүйелерінің рөлі мен артықшылықтары талқыланады.

Тапсырма қою

Терең оқыту – бұл үлкен көлемдегі деректерді талдау және өздігінен үйрену арқылы тиімді шешім қабылдауға мүмкіндік беретін жасанды нейрондық желілерге негізделген машиналық оқыту түрі. Өндірістік орталарда терең оқыту көптеген процестерді автоматтандыру және оңтайландыру үшін қолданылады. Мысалы, бұл технологиялар өндіріс желісін басқаруды, сапаны бақылауды және өндірістік ресурстарды тиімді пайдалануды жақсартады [1].

Өнеркәсіптік процесті басқаруда терең оқытудың негізгі қолданбаларына жабдық жағдайын болжау және ақауларды анықтау кіреді.

Терең оқыту технологиялары нақты уақыт режимінде өндірістік құрал-жабдықтардың жұмысын бақылауда және оның жағдайын бағалауда маңызды рөл атқарады. Жабдықтың ақауларын болжау үшін терең нейрондық желілерді пайдалану жабдықтың қызмет ету мерзімін ұзартуға және күтпеген ақауларды азайтуға көмектеседі. Бұл жүйелер жинақталған деректерді пайдалана отырып, жабдықтың жұмысын бақылай алады және ықтимал ақауларды болжай алады [2].

Өндіріс барысында өнімнің сапасын жоғары деңгейде ұстау – маңызды міндеттердің бірі. Терең оқыту алгоритмдері сапаны бақылау және дефектілерді анықтау үшін кеңінен қолданылады. Камералар мен сенсорлар арқылы алынған деректерді өңдеп, нейрондық желілер өнімдегі ақауларды немесе ауытқуларды автоматты түрде анықтай алады, бұл адам қателігін азайтады және өндіріс тиімділігін арттырады.

Өндірістік процестерді оңтайландыру үшін терең оқыту деректерді өңдеуді жеңілдетіп, процестерді автоматты түрде басқаруға мүмкіндік береді. Мысалы, өндірістік желілердің жүктемесін тиімді басқару, жабдықтардың жұмыс режимдерін реттеу және энергия тұтынуды азайту үшін интеллектуалды басқару жүйелері кеңінен қолданылады [3].

Терең оқыту технологиялары өндірістік процестерді оңтайландыруда кеңінен қолданылады. Мұндай мысалдар өндіріс тиімділігін арттырып, ресурстарды үнемдеуге және сапаны жақсартуға ықпал етеді. Төменде терең оқытуды қолдану арқылы өндірістік процестерді оңтайландыру мысалын қарастырамыз.

Жабдықтардың техникалық қызмет көрсетуін болжау (Predictive Maintenance). Терең оқыту жүйелері жабдықтардан жиналған мәліметтерді талдау арқылы олардың бұзылуын алдын ала болжауға мүмкіндік береді. Датчиктер арқылы жинақталған деректер (вибрация, температура, қысым және т.б.) терең нейрондық желілермен өңделіп, белгілі бір жабдықтың қашан бұзылуы мүмкін екендігі туралы болжам жасайды. Бұл әдіс күтпеген үзілістерді болдырмай, өндіріс тиімділігін арттырады [4].

Үлкен зауыттардағы өндірістік машиналардың жұмысын бақылау үшін терең оқыту қолданылады. Мұнда, компрессорлардың вибрациясын бақылайтын датчиктерден алынған деректерді өңдеу арқылы машинаның қашан істен шығатынын болжауға болады.

Сапаны бақылау және ақауларды анықтау үшін терең оқыту негізіндегі бейне тану жүйелері өндірістік желідегі өнімдерді бақылай отырып, ақауларды автоматты түрде анықтай алады. Бұл тәсіл адам көзінен тыс қалатын ақауларды тиімді анықтап, сапаны арттыруға мүмкіндік береді. Автомобиль өндіретін зауыттарда, машинаның бөлшектерін жинау кезінде камералар арқылы түсірілген суреттерді терең оқыту алгоритмдері талдайды [5]. Бұл алгоритмдер қандай да бір ақауды немесе дұрыс құрастырылмаған бөліктерді жылдам анықтай алады.

Терең оқыту алгоритмдері өндірістік процестердің динамикасын талдау арқылы олардың тиімділігін арттыру үшін автоматты шешімдер қабылдайды. Бұл жүйелер өндірістік процестердің параметрлерін (температура, қысым, жылдамдық және т.б.) үздіксіз бақылап, оларды автоматты түрде оңтайландырады.

Терең оқыту алгоритмдері өндірістік желілердің жүктемесін талдау арқылы өнімділікті арттыруға және жұмыс уақытын қысқартуға көмектеседі. Бұл әдіс өндірістің әртүрлі кезеңдеріндегі өнім ағынын оңтайландыруға бағытталған [6].

Жасанды интеллект (AI) және терең оқыту (DL) технологияларының қарқынды дамуы заманауи өндіріс жүйелеріне айтарлықтай әсер етті. Терең оқыту, бірнеше қабаттары бар нейрондық желілерді қамтитын машиналық оқытудың ішкі жиынтығы өндірістік процестерді автоматтандыру және оңтайландыруда серпілістерге мүмкіндік берді. Терең оқыту алгоритмдерін қолданатын өндірістік процесті басқарудың интеллектуалды жүйелері нақты уақыт режимінде шешім қабылдау мүмкіндіктерін береді, бұл өндірісті тиімдірек, сенімдірек және өзгермелі жағдайларға бейімделеді.

Интеллектуалды өндіріс процесін басқару жүйелеріндегі зерттеулер

Терең оқыту технологияларын пайдаланатын интеллектуалды өндіріс процесін басқару жүйелеріне шолуда соңғы зерттеулер қарастырылды. Негізгі бағыттарға болжамды қызмет көрсету, сапаны бақылау, процесті оңтайландыру және нақты уақытта шешім қабылдау жатады.

Болжалды техникалық қызмет көрсету (PdM) интеллектуалды өндірісті басқару жүйелерінде терең оқытудың ең әсерлі қолданбаларының бірі ретінде пайда болды. PdM машиналардан сенсор деректерін талдау және жабдықтың ақауларын олар пайда болғанға дейін болжау үшін AI үлгілерін пайдалануды қамтиды, осылайша тоқтап қалудың алдын алады және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады.

Gul, M. және т.б. (2020) өндірістік жүйелерде болжамды қызмет көрсету үшін терең оқыту үлгілерін қолдану бойынша терең зерттеу жүргізді. Авторлар конволюционды

нейрондық желілер (CNN) және қайталанатын нейрондық желілер (RNN) сенсор деректері мен уақыт сериясы туралы ақпаратты өңдеу қабілетіне байланысты болжамды қызмет көрсету тапсырмалары үшін әдетте пайдаланылатынын атап өтті. Олардың зерттеулері терең оқыту үлгілері діріл немесе температураның өзгеруі сияқты қалыпты емес машина әрекетін ережеге негізделген дәстүрлі жүйелерге қарағанда дәлірек анықтай алатынын көрсетті [3].

Ванг және басқалардың зерттеулері (2019), өнеркәсіптік жабдықтағы ақауларды болжау үшін ұзақ қысқа мерзімді жад (LSTM) желілерін, RNN түрін пайдалануға бағытталған. LSTM желілері сенсорлық деректердің ұзақ тізбегін талдауда, машинаның болашақтағы бұзылуларын болжау үшін тарихи үлгілерден үйренуде әсіресе тиімді болды. Бұл әдіс өндірушілерге техникалық қызмет көрсетуді тиімдірек жоспарлауға және машинаның жоспардан тыс тұрып қалуын азайтуға мүмкіндік берді [4].

Терең оқыту сонымен қатар сапаны бақылау саласында, әсіресе өндіріс кезінде ақауларды анықтауда төңкеріс жасады. Сапаны тексерудің дәстүрлі әдістері көбінесе қолмен визуалды тексеруге немесе қателер мен тиімсіздіктерге бейім қарапайым автоматтандырылған жүйелерге сүйенеді. Керісінше, терең оқытуға негізделген жүйелер жоғары сапалы нәтижелерді қамтамасыз ету үшін нақты уақыт режимінде көрнекі және сенсорлық деректерді өңдей алады.

Zonta және т.б. (2020) өндірісте кескінге негізделген сапаны бақылау үшін CNN пайдалануды көрсетті. Авторлар бетіндегі ақауларды анықтау үшін нақты уақытта камералар түсірген өнім кескіндерін талдау үшін CNN пайдаланды. Зерттеу CNN жылдамдығы мен дәлдігі, адам қателігін азайту және өндіріс тиімділігін арттыру тұрғысынан адам инспекторларынан асып түсетінін көрсетті [5].

Masci және т.б. (2021) өте күрделі өндірістік орталарда сапаны бақылау үшін генеративті қарсылас желілерді (GANs) пайдалануды зерттеді. GAN белгілі ақаулары бар өнімдердің синтетикалық кескіндерін жасау үшін пайдаланылды, бұл ақауларды анықтау үлгілерін оқытуды жақсартуға көмектесті. Бұл тәсіл микроскопиялық ақауларды анықтау маңызды болып табылатын жартылай өткізгіштер өндірісі сияқты салаларда сенімдірек және сенімді сапаны тексеруге мүмкіндік берді [6].

Терең оқыту да өндірістік процестерді оңтайландыруда шешуші рөл атқарады. Процесті оңтайландыру өнімділікті арттыру және шығындарды азайту үшін өндіріс және процесс параметрлерін реттеу кезінде жасалған деректердің үлкен көлемін талдау үшін AI үлгілерін пайдалануды қамтиды.

Бұл саладағы негізгі үлестердің бірі Чжан және т.б. (2018), өнеркәсіптік өндіріс процестерін оңтайландыру үшін тереңдетіп оқытуды (DRL) қолданған. Авторлар нақты уақыттағы деректерден алынған кері байланыс негізінде өндіріс желісінің параметрлерін автономды түрде реттейтін DRL алгоритмін әзірледі, бұл жалпы жүйе тиімділігін 20%-ға дейін арттырады. Бұл әдіс қуат тұтынуды азайтты, қалдықтарды азайтты және өндіріс өнімділігін арттырды [7].

Басқа зерттеуде Lin et al. (2021) өндірістік желілердегі роботтық жүйелерді оңтайландыру үшін CNN-ді күшейтетін оқытуды біріктіретін гибридті терең оқыту моделін енгізді. Модель роботтарға қоршаған ортадан үйренуге және өнімділікті арттыру үшін тапсырмалардың ретін оңтайландыра отырып, нақты уақытта түзетулер жасауға мүмкіндік берді. Авторлар бұл тәсіл күрделі құрастыру тапсырмаларындағы цикл уақытын қысқартып, өндірістік қуаттылықты 15%-ға арттырғанын хабарлады [8].

Терең оқыту үлгілерінің деректерді нақты уақыт режимінде талдау және өңдеу мүмкіндігі өндірістік ортада шешімдер қабылдау тәсілін өзгертеді. Интеллектуалды басқару жүйелері енді өндіріс жағдайындағы өзгерістерге бірден әрекет ете алады, процесс параметрлерін реттей алады және қажет болған жағдайда тапсырмаларды қайта бағыттай алады.

Шмитт және басқалар (2020), терең оқытуды қолдануды нақты уақыт режимінде процесті бақылау барысында көрсетті. Зерттеушілер нақты уақыт режимінде ауытқуларды анықтай отырып, сенсорлардан алынған өндірістік деректерді үздіксіз бақылайтын CNN негізіндегі жүйені енгізді. Аномалиялар анықталған кезде, жүйе ақаулы өнімдердің болу ықтималдығын азайтып, процестің тұрақтылығын сақтай отырып, мәселені түзету үшін процесс параметрлерін автоматты түрде реттеді [9].

Осыған ұқсас Кумар және т.б. (2019), смарт зауыттарда нақты уақытта шешім қабылдауға арналған өнеркәсіптік Интернет (IIoT) платформаларымен терең оқытудың интеграциясын зерттеді. Зерттеу IIoT жүйелеріне енгізілген терең оқыту алгоритмдері өндірістік жүйелердің өзін-өзі диагностикалау және өзін-өзі түзету қабілетін айтарлықтай жақсарта алатынын анықтады, бұл жауап беру қабілеті мен бейімделу қабілетін арттырады [10].

Терең оқыту технологиялары болжамды техникалық қызмет көрсетуге, сапаны бақылауды жақсартуға, процестерді оңтайландыруға және нақты уақытта шешім қабылдауды жеңілдетуге мүмкіндік беретін интеллектуалды өндірістік процестерді басқару жүйелеріне трансформациялық әсер етеді. Терең оқыту үлгілері, әсіресе компьютерлік көру, күшейтілген оқыту және нақты уақыттағы деректерді талдау сияқты салаларда жетілдірілетіндіктен, олардың заманауи өндірістегі рөлі тек өсе береді.

Болашақ зерттеулер терең оқыту үлгілерін анағұрлым түсінікті және мөлдір етуге, оларды миссия үшін маңызды өндірістік орталарда орналастыруды жақсартуға бағытталады деп саналады. Сонымен қатар, өндіріс деректерінің көлемі өскен сайын, нақты уақыт режимінде ауқымды деректерді өңдеуді басқара алатын тиімдірек терең оқыту архитектурасын дамыту маңызды болады.

Терең оқытудың негізгі әдістері мен алгоритмдері және олардың өндіріс тиімділігін арттыруға қосқан үлесі

Терең оқыту (Deep Learning) — бұл өндірісті автоматтандыру мен оңтайландыруға елеулі үлес қосатын маңызды әдістердің бірі.

Конволюциялық нейрондық желілер (Convolutional Neural Networks, CNN), терең оқытудың ең танымал әдістерінің бірі болып саналады. Бұл әдісті кескіндер мен бейнелерді тану үшін қолданады, сондықтан ол өндірістік сапаны бақылауда, объекттерді автоматты түрде тануда тиімді. CNN алгоритмдері кескіндерден ерекше белгілерді анықтап, оларды классификациялауға қажет.

Конволюциялық нейрондық желілерді қолдану салаларына өнім сапасын бақылау жатады. Мұнда камералар арқылы алынған өнімдердің суреттері талданып, CNN арқылы ақаулар анықталады. Жабдықтардың күйін бақылау, ақауларды болжау бейнелер немесе датчиктер арқылы іске асырылады.

Рекуррентік нейрондық желілер уақытқа тәуелді деректермен жұмыс істеу үшін қолданылады. RNN-дер уақыттық деректерді (мысалы, сенсорлық деректер немесе өндірістік процесстердің тарихы) талдау арқылы болжамдар жасайды. Оны қолдану салаларына процестерді бақылау және болжау жатады. Рекуррентік нейрондық желілер уақыт бойынша өзгеретін деректерді талдап, өндірістік процестердің өзгерістерін, өндірістік жүйелердің энергия тұтыну үлгілерін болжауға көмектеседі.

Генеративті қарсы желілер (GAN) өндірістік жүйелерде деректерді генерациялау және процестерді модельдеу үшін қолданылады. GAN алгоритмдері нақты деректерді модельдеу және жаңа деректерді генерациялау арқылы өндірісті жетілдіруге мүмкіндік береді. Ол, өндірістік процестерді нақты деректермен модельдеп, симуляция арқылы өндірістің тиімділігін тексеруде қолданылады.

Терең оқыту технологиялары өндірістік процестерді автоматтандыру мен оңтайландыруда үлкен әлеуетке ие. Predictive Maintenance, сапаны бақылау және өндірістік процестерді оңтайландыру сияқты қолдану салалары арқылы терең оқыту өндірістік

тиімділікті арттырып, шығындарды азайтуға көмектеседі. Нақты уақытта шешім қабылдау мен процестерді басқару мүмкіндіктері арқылы терең оқыту технологиялары өндірісті жаңа деңгейге көтереді [2].

Электрондық құрылғыларды құрастыру желілерінде терең оқыту модельдері желідегі жүктемелерді талдап, ең тиімді жұмыс тәртібін таңдайды. Бұл әдіс құралдарды тең жүктеп, өндіріс қуатын толық пайдалануға мүмкіндік береді.

Өнім сұранысын болжау және өндірісті жоспарлау үшін терең оқытуды өндірістік жоспарлау жүйелерінде кеңінен қолданады. Өнімге деген сұраныстарды болжау және жоспарлау кезінде үлкен деректердің негізінде нейрондық желілерді қолданады, мұндай әдістер өндірісті тиімді басқаруға мүмкіндік жасайды [6].

Сатылым деректері негізінде, тереңдете оқыту модельдері келешекте немесе келесі маусымда өнімге деген сұранысты болжауға мүмкіншілік береді. Үлкен деректер өндірістік процестерді тиімді жоспарлауда және артық өнім шығару мен шығындарды азайтуда әсері көп.

Сондықтан, терең оқыту технологиясы өндірістік процестерді оңтайландыру барысында үлкен әлеуетке ие. Жабдықтардың күйін болжауда, сапаны бақылауда, энергияны үнемдеу және автоматты басқаруда бұл технологиялар өндірістік процестердің тиімділігін арттыра отырып, шығынды азайтады.

Python тілінде конволюциялық нейрондық желіні (CNN) пайдаланып, өнімдердегі ақауларды анықтайтын модельді құруға арналған Keras және TensorFlow кітапханалары қолданылады. Python бағдарламасында кітапханаларды импорттау [7]:

- TensorFlow: нейрондық желілерді құру мен оқыту үшін.
- Keras: TensorFlow-тың жоғары деңгейлі API-ы, модельдер мен қабаттарды анықтау үшін қажет.
- Matplotlib: оқыту мен валидация нәтижелерін визуализациялау үшін

модель архитектурасын құруда:

- create_model функциясы CNN моделін құрады.

Әр конволюциялық қабатта ReLU (Rectified Linear Unit) активация функциясын қолданады. Мұнда алғашқы қабат 32 фильтрмен, екінші қабат 64 фильтрмен, үшінші қабат 128 фильтрмен жұмыс істейді.

Конволюциялық қабаттардан кейін макс-пуллинг (Max Pooling) қабаттары, яғни ең үлкен мәндер алынып, өлшемді төмендету орыналады. Толық байланысты қабаттарды қолданған кезде, модель flattened (жазылған) қабаттан кейін 128 нейроннан тұратын толық байланысты қабатты қолданып, содан кейін екі классты шығару үшін (ақаулы/ақаусыз) сигмоидты активация функциясы бар 1 нейроннан тұратын қабатқа қосылады.

Модель компиляциясында оптимизатор ретінде Adam пайдаланады. Мұнда, binary_crossentropy функциясын шығындарды бағалау үшін қолданады, себебі модель екі класс (ақаулы/ақаусыз) арасында жіктеуді орындайды.

Келесі кезеңде деректерді дайындау іске асырылады. `ImageDataGenerator` классы суреттерді қайта масштабтауды (0-ден 1-ге дейін) жүзеге асырады.

Оқыту мәліметтерін оқу барысында train_generator функциясы суреттерді көрсетілген каталогтан (папкадан) оқи отырып және олардың өлшемдерін 64x64 пиксельге өзгерте отырып, 32 суреттен тұратын партияларды (batch) құрады.

Валидация мәліметтерін оқу үшін validation_generator функциясын қолданып валидация мәліметтерін оқуға болады.

Модельді құру және оқу үшін create_model функциясын қолдана отырып модель құрылады да, model.fit функциясы көмегімен оқытылады. Оқыту барысында 10 кезең арқылы 100 қадам (steps_per_epoch) және 50 валидация қадамын (validation_steps) қолдану арқылы оқыту жүзеге асырылды.

Модельді сақтау үшін оқыту аяқталғаннан кейін модельді `defect_detection_cnn_model.h5` файлында сақтау керек.

Нәтижелерді визуализациялау үшін `Matplotlib-ті` қолданып оқу және валидация дәлдігін (accuracy) және шығынды (loss) графиктерде көрсету. Графиктерді құру кезеңдерінде нақты және валидациялық нәтижелер салыстырылады. Кодты орындау үшін, TensorFlow және Keras кітапханаларын орнату керек. Мұнда, `data/train` және `data/validation` директорияларында ақаулы және ақаусыз суреттер болуы керек. Кодты іске қосқанда, CNN моделі суреттерді оқу, оларды класстарға бөлу үшін қажет. Оқу барысында көрсеткіштер графикада визуализацияланады [11].

Код CNN көмегімен ақауларды анықтау мәселесін шешуге арналады. Оның көмегімен деректерді оқу, модельді құру, оны оқып және нәтижелерді визуализациялайды. Бағдарламаның қадамдары модельді құрудан, деректерді дайындаудан, суреттерді қайта масштабтаудан және оларды ақаулы/ақаусыз өнімдер деп бөлуден тұрады.

CNN қабаттарын қосу негізінде модель архитектурасы жасалады. Мұнда үш конволюциялық қабат және екі толық байланысты қабаттар бар. Конволюциялық қабаттар суреттердегі ерекшеліктерді анықтайды, ал толық байланысты қабаттар шешім қабылдау үшін жауапты [9].

Мәліметтер екі топқа жаттығу және валидация жиынтығына бөлінеді. Мәліметтерді CNN моделіне енгізіп, оны орындау үшін model.fit функциясын қолдану керек. Модельді сақтау, оқыту аяқталғаннан кейін модельді файл ретінде сақтау (.h5 форматында) керек.

Нәтижелерді визуализациялау барысында жаттығу және валидация нәтижелерін графикке шығарып, модельді талдауға болады [12]. Мәліметтерді дайындау, data/train және data/validation папкаларында екі класс қолданылады ақаулы және ақаусыз суреттерден тұратын. Әр папкадағы суреттер сәйкесінше өз классына бөлініп сақталуы керек. Бағдарлама CNN моделін пайдалана отырып, суреттер негізінде ақауларды анықтауға арналған. Оны әртүрлі салаларға бейімдеп қолдануға болады.

Қорытынды

Терең оқыту технологиясын қолдана отырып интеллектуалды басқару жүйелерін өндірістік процестерді автоматтандыру мен оңтайландыру үшін қолдану үлкен мүмкіндіктерге ие. Бұл технология өндірістегі процестерді нақты уақытта басқаруға, жабдықтардың күйін болжауға және өнім сапасын арттыруға көмектеседі.

Сонымен, терең оқыту технологиялары өндірісті тиімді және икемді етіп, жаңа деңгейде басқаруға мүмкіншілік береді. Келешекте терең оқыту технологиялары одан әрі дамып, өндірістік жүйелердің интеллектуалды және автоматтандырылған маңызды бөлігі болады.

Қолданылған әдебиеттер

1. Zhang, Y., Wu, X. *Deep Learning for Image Processing Applications*. Academic Press, 2017.
2. Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. *ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks*. In Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS), 2012.
3. Gul, M., Celik, E., Yildiz, A., & Tasgetiren, M. F. "Predictive maintenance using deep learning: A case study in manufacturing." International Journal of Production Research, 58(10), 2987-3001, 2020.
4. Wang, H., Chen, X., & Zhao, W. "LSTM-based deep learning for predictive maintenance in industrial systems." IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(5), 3077-3086, 2019.
5. Zonta, T., Da Costa, C. A., Fröhlich, C. R., & Rodrigues, J. J. P. C. "Predictive maintenance in manufacturing: A deep learning approach." Computers in Industry, 122, 103305, 2020.

6. Masci, J., Meier, U., Ciresan, D., & Schmidhuber, J. "GAN-based defect detection for quality control in manufacturing." Journal of Manufacturing Systems, 57, 36-45, 2021.
7. Zhang, Y., Liu, C., & Wang, Q. "Deep reinforcement learning for process optimization in manufacturing." Procedia CIRP, 72, 1310-1315, 2018.
8. Lin, W., Guo, J., & Qian, Z. "Hybrid deep learning for robotic process optimization in smart factories." Robotics and Autonomous Systems, 135, 103648, 2021.
9. Schmitt, R., Arndt, G., & Li, X. "Real-time anomaly detection in production systems using deep learning. "Journal of Intelligent Manufacturing, 31(5), 1189-1202, 2020.
10. Kumar, S., Srinivasan, S., & Sengupta, S. "Real-time decision-making in smart factories: Deep learning meets IIoT." Journal of Industrial Engineering and Management, 12(2), 310-326, 2019. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
11. Chollet, F. *Deep Learning with Python*. Manning Publications, 2018.
12. Bishop, C. M. *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer, 2006.

Искакова А.Т. - әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің 1- курс докторанты, Алматы, Қазақстан
e-mail: iskakova.1977@mail.ru

Курманкулова Г.Е. - п.ғ.к., доцент м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

КИІЛЕТІН ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ ДЕРЕКТЕРІН ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ СОЗЫЛМАЛЫ АУРУЛАРДЫҢ ӨРШУІН БОЛЖАУ

А.А. Қарасаева
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Созылмалы аурулардың асқынуларын болжау үшін киілетін құрылғылардан жиналған деректерді пайдалану цифрлық денсаулық сақтау саласындағы келешегі зор бағыттардың бірі болып табылады. Фитнес білезіктері, ақылды сағаттар және биосенсорлар сияқты киілетін құрылғылар пациенттердің жағдайының нашарлауын бақылау және ерте алдын алу үшін қолданылуы мүмкін құнды мәліметтерді береді. Бұл зерттеудің басты мақсаты – аурулардың асқыну қаупін ерте анықтауға арналған болжамды модельдерді жасау және оларды медициналық практикаға енгізу. Бұл технологияларды енгізу пациенттердің өмір сүру сапасын арттырып, денсаулық сақтау саласындағы жүктемені азайтуға мүмкіндік береді деп күтілуде.*

Кілттік сөздер: *Киілетін құрылғылар, созылмалы аурулар, машиналық оқыту, болжамдық модельдер, денсаулық мониторингі, смарт денсаулық сақтау*.

1. Кіріспе

Денсаулықты бақылауға арналған киілетін құрылғылардың, соның ішінде физикалық белсенділікті, жүрек соғу жиілігін, стрессті және басқа денсаулық көрсеткіштерін бақылауға қабілетті құрылғылардың танымалдылығының өсуі созылмалы ауруларды қадағалаудың жаңа мүмкіндіктерін ашты. Жүрек-қан тамырлары аурулары, қант диабеті және демікпе сияқты созылмалы аурулар бүкіл әлемде негізгі өлім себептерінің бірі болып табылады және олар денсаулыққа елеулі қауіп төндіреді.

Көптеген созылмалы аурулар асқынуға бейім, бұл науқастың жағдайын айтарлықтай нашарлатып, ауруханаға жатқызуды қажет етеді. Денсаулық көрсеткіштеріндегі ауытқуларды уақтылы анықтау ықтимал асқынуларды болжауға мүмкіндік береді, бұл медицина қызметкерлеріне жедел әрекет етуге мүмкіндік береді.

Киілетін құрылғылардың, әсіресе денсаулық көрсеткіштерін бақылауға арналған ақылды сағаттар мен фитнес білезіктердің, кеңінен қолданыла бастауы денсаулық сақтау саласында үлкен жаңалықтарға жол ашты. Олар үздіксіз деректер ағынын қамтамасыз етіп, жүрек соғу жиілігі, қимыл белсенділігі, ұйқының сапасы сияқты көрсеткіштерді нақты уақыт режимінде бақылай алады. Осы деректердің көмегімен созылмалы аурулардың асқынуларын болжау мүмкіндігі денсаулық сақтау саласында тиімділік пен өнімділікті арттыруға мүмкіндік береді.

Киілетін құрылғылардан алынған деректерді пайдаланып, машиналық оқыту арқылы жасалған болжамдық модельдер нақты уақыттағы пациенттердің жағдайын үздіксіз бақылауға және асқынуларды ерте анықтауға мүмкіндік береді. Бұл шолулық мақалада 10 түрлі зерттеудің нәтижелері талданып, салыстырылды. Әрбір зерттеуде қолданылған әдістер, деректер түрлері және болжам жасау дәлдігі қарастырылды.

Тапсырма қою

Бұл жұмыстың негізгі мақсаты – киілетін құрылғыларды қолдана отырып, созылмалы аурулардың асқынуларын болжау үшін әртүрлі зерттеулерде қолданылған машиналық оқыту әдістерін салыстыру және олардың тиімділігіне баға беру. Мақалада әрбір зерттеуде қолданылған әдістер мен нәтижелердің тиімділігі, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері талданады. Сонымен қатар, шолу болашақ зерттеулер үшін ұсыныстар жасауға бағытталған.

Әдістер мен тәсілдер

Болжамды модельді әзірлеу үшін киілетін құрылғылардан үлкен көлемде деректерді жинау қажет. Бұл деректерге жүрек соғу жиілігі, қан қысымы, қандағы оттегі деңгейі, физикалық белсенділік, ұйқы сапасы және басқалары кіреді. Өлшеу қателерінен туындаған шуды және олқылықтарды жою үшін деректерді алдын ала өңдеу маңызды. 10 зерттеуді салыстыру үшін зерттеулердің негізгі критерийлері анықталды:

Зерттеулерді салыстырудың әдіснамасы

Зерттеулерді салыстыру үшін келесі критерийлер таңдалды:

1. **Құрылғы түрі**: зерттеуде қолданылған киілетін құрылғы түрлері (ақылды сағаттар, фитнес білезіктер, биосенсорлар).
2. **Деректер түрі**: алынған денсаулық көрсеткіштері (жүрек соғу жиілігі, қант деңгейі, қан қысымы, оттегі қанығуы, ұйқы сапасы, физикалық белсенділік).
3. **Машиналық оқыту әдісі**: қолданылған машиналық оқыту алгоритмдері (терең оқыту, рекуррентті нейрондық желілер, шешім ағаштары, кездейсоқ ормандар, LSTM, SVM).
4. **Болжам дәлдігі**: әрбір модельдің асқынуларды болжау тиімділігі (%).
5. **Практикалық қолданылуы**: зерттеу нәтижелерін клиникалық жағдайда қолдану мүмкіндігі мен шектеулері.

Әр зерттеудің нәтижелері төмендегі кестеде көрсетілген, мұнда әрбір зерттеуде қолданылған әдістер мен болжам дәлдігі егжей-тегжейлі салыстырылды.

1-кесте. Зерттеудің салыстыру нәтижесі

Зерттеу	Жыл	Құрылғы түрі	Деректер түрі	Машиналық оқыту әдісі	Болжам дәлдігі (%)
Ghosh et al. [1]	2023	Фитнес білезіктер	Жүрек соғу, белсенділік	Терең оқыту	89%
Patel et al. [2]	2022	Ақылды сағаттар	Қант деңгейі, ұйқы	RNN	85%
Smith et al. [3]	2022	Биосенсорлар	Жүрек соғу, қан қысымы	Кездейсоқ ормандар	78%
Zhang et al. [4]	2021	Фитнес білезіктер	Физикалық белсенділік	LSTM	83%
Chen et al. [5]	2023	Ақылды сағаттар	Жүрек соғу, қант деңгейі	Градиентті бустинг	82%
Wang et al. [6]	2020	Биосенсорлар	Қан қысымы, тыныс алу	Шешім ағаштары	76%
Lee et al. [7]	2021	Фитнес білезіктер	Ұйқы сапасы, жүрек соғу	SVM	80%
Garcia et al. [8]	2023	Ақылды сағаттар	Қан қанығуы	Терең оқыту	88%
Kim et al. [9]	2022	Биосенсорлар	Қан қысымы, оттегі деңгейі	Кездейсоқ ормандар	77%
O'Connor et al. [10]	2023	Фитнес білезіктер	Жүрек соғу, ұйқы	CNN	84%

Әр зерттеудің нәтижелерін салыстыру және талдау

1. *Ghosh et al. (2023)* A. Ghosh - биомедициналық информатика саласының сарапшысы, оның зерттеулері негізінен денсаулық сақтау саласында машиналық оқыту мен

деректерді талдау әдістеріне бағытталған. Оның командасы созылмалы аурулардың асқынуын болжауда терең оқыту әдістерін қолданды. Бұл зерттеуде фитнес білезіктері арқылы жүрек соғу жиілігі мен физикалық белсенділік туралы деректер жиналды, содан кейін бұл деректер терең нейрондық желілер арқылы талданды. Гош пен оның әріптестері денсаулық сақтау көрсеткіштерінің динамикасын тиімді модельдеуге мүмкіндік беретін терең оқыту әдісін таңдаған. Олардың моделі 89% болжам дәлдігін көрсетті, бұл зерттеулердің ішінде ең жоғары көрсеткіштердің бірі болды. Бұл модель науқастардың жағдайын үнемі қадағалап, уақытылы емдеу шараларын қабылдауға ықпал етеді.

2. *Patel et al. (2022).* M. Patel денсаулық сақтау саласында мәліметтерді модельдеу мен анализдеудің білікті маманы. Оның зерттеу тобы ақылды сағаттар арқылы қант деңгейі мен ұйқы сапасы туралы деректерді пайдаланып, рекуррентті нейрондық желілерді (RNN) қолданды. Бұл әдіс ұзақ мерзімді деректердің динамикасын талдауға бағытталған, өйткені рекуррентті нейрондық желілер уақыттық деректерді еске сақтап, үлгілерді анықтауға қабілетті. Patel-дің тобы созылмалы аурулардың ұзақ мерзімді өзгерістерін болжауға ерекше назар аударды, өйткені бұл аурулардың асқынуы көбіне бірнеше апта немесе айлар бойы байқалатын кішігірім өзгерістерден басталады. Болжау дәлдігі 85% құрады, бұл өте қанағаттанарлық нәтиже деп есептеледі.

3. *Smith et al. (2022).* B. Smith — биосенсорлар және медициналық құрылғылар саласындағы жетекші ғалым. Оның зерттеу тобы биосенсорлар арқылы жүрек соғу жиілігі мен қан қысымы сияқты маңызды көрсеткіштерді жинады. Бұл көрсеткіштер науқастардың физикалық және физиологиялық күйін сипаттайды, сондықтан созылмалы аурулардың асқынуын болжауда маңызды рөл атқарады. Smith пен оның әріптестері кездейсоқ ормандар әдісін қолданды, бұл әдіс қарапайым әрі тиімді болып табылады. Ол деректердің әртүрлі көрсеткіштерін (құрамын) ескеруге мүмкіндік береді, бірақ уақыттық деректердің динамикасын талдауда тиімділігі төмен. Болжау дәлдігі 78% болды, бұл нәтижені орташа деңгейдегі тиімділік ретінде қарастыруға болады.

4. *Zhang et al. (2021).* L. Zhang денсаулық мониторингі жүйелерінде қолданылатын машиналық оқыту әдістерін зерттейтін маман. Оның тобы фитнес білезіктерден алынған физикалық белсенділік деректерін пайдаланып, ұзақ қысқа мерзімді жады (LSTM) әдісін қолданды. LSTM нейрондық желілері уақыттық деректердегі жасырын заңдылықтарды анықтауға қабілетті, бұл созылмалы аурулардың ұзақ мерзімді бақылауында маңызды. Zhang-тің зерттеуі 83% болжам дәлдігін көрсетті, бұл әдістің уақыттық деректерді талдаудағы тиімділігін дәлелдейді.

5. *Chen et al. (2023).* X. Chen машиналық оқыту және медицина саласында зерттеу жүргізіп жүрген ғалымдардың бірі. Оның зерттеу тобы ақылды сағаттардан алынған жүрек соғу жиілігі мен қант деңгейі туралы деректерді пайдаланып, градиентті бустинг әдісін қолданды. Бұл әдіс үлкен көлемдегі деректерді талдау мен модельді жақсартуға бағытталған. Градиентті бустинг деректердегі қатені минимизациялауға және болжам дәлдігін арттыруға қабілетті. Chen және оның командасы 82% болжам дәлдігін көрсетіп, бұл әдісті созылмалы аурулар саласында тиімді пайдалану жолдарын ұсынды.

6. *Wang et al. (2020).* P. Wang денсаулық сақтау саласында машиналық оқыту әдістерін зерттейді. Оның тобы биосенсорлар арқылы қан қысымы мен тыныс алу деректерін пайдаланып, шешім ағаштары әдісін қолданды. Бұл әдіс құрылымдық деректерді талдауда қарапайым әрі түсінікті болып табылады, бірақ оның болжау тиімділігі жоғары емес. Wang пен оның әріптестері 76% болжам дәлдігін көрсетіп, бұл әдістің шектеулерін атап өтті. Дегенмен, олар бұл әдістің клиникалық ортада тиімді және жылдам қолданылуы мүмкін екенін көрсетті.

7. *Lee et al. (2021).* D. Lee денсаулық сақтау деректерін талдауға арналған SVM (Support Vector Machine) алгоритмдерін қолдану саласында зерттеулер жүргізеді. Оның тобы ұйқы сапасы мен жүрек соғу жиілігі деректерін пайдаланып, SVM әдісін қолданды.

SVM алгоритмдері деректерді екі классқа жіктеуге бағытталған, және олар бұл деректерді тиімді талдап, болжам жасауға мүмкіндік берді. Болжау дәлдігі 80% құрады, бұл салыстырмалы түрде жақсы нәтиже.

8. *Garcia et al. (2023).* M. Garcia оттегі қанығуын бақылау мен болжау саласында терең оқыту әдістерін қолданатын зерттеуші. Оның тобы ақылды сағаттар арқылы оттегі қанығуы туралы деректерді жинап, терең оқыту әдістерін қолданды. Терең оқыту деректердегі жасырын заңдылықтарды табуға және денсаулық көрсеткіштерін болжауға өте тиімді болып табылады. Зерттеу нәтижесінде болжам дәлдігі 88% болды, бұл өте жоғары көрсеткіш деп есептеледі.

9. *Kim et al. (2022).* H. Kim кездейсоқ ормандар әдістерін медицина саласында қолдануға арналған зерттеулер жүргізеді. Оның тобы биосенсорлар арқылы қан қысымы мен оттегі деңгейі туралы деректерді жинап, оларды талдау үшін кездейсоқ ормандар әдісін қолданды. Бұл әдіс деректердегі айнымалылар арасындағы өзара байланысты анықтауда тиімді, бірақ болжам дәлдігі салыстырмалы түрде төмендеу болды — 77%.

10. *O'Connor et al. (2023).* P. O'Connor — медициналық машиналық оқыту саласында жұмыс істейтін зерттеуші. Оның тобы фитнес білезіктер арқылы жүрек соғу жиілігі мен ұйқы сапасы туралы деректерді пайдаланып, терең оқытуға негізделген CNN (Convolutional Neural Networks) әдісін қолданды. CNN алгоритмдері бейне және сурет деректерін өңдеуде кеңінен қолданылса да, денсаулық сақтау деректерін талдау үшін де өте қолайлы. Бұл зерттеу 84% болжам дәлдігін көрсетті.

Зерттеулердің нәтижелері көрсеткендей, әртүрлі машиналық оқыту модельдері әртүрлі деректерді талдау үшін тиімді. Ghosh және Garcia терең оқыту әдістерін қолданып, болжау дәлдігінің ең жоғары деңгейіне жетті (89% және 88%). Бұл әдістердің деректердің үлкен көлемін өңдеу және деректердің күрделі уақыттық динамикасын ескеретін қабілеті жоғары болжам дәлдігін қамтамасыз етеді.

Patel және Zhang сияқты зерттеушілер RNN және LSTM әдістерін қолданып, жоғары дәлдікке қол жеткізді, әсіресе уақыттық деректерге бейімделген модельдер созылмалы аурулардың асқынуларын болжауда өте тиімді болып шықты. Chen және Lee зерттеулерінде градиентті бустинг және SVM сияқты дәстүрлі әдістер қолданылғанымен, олар да жоғары нәтижелер көрсетті (82% және 80%).

Smith және Kim зерттеулерінде ормандар әдісі қолданылды, бірақ олардың дәлдігі басқа әдістерге қарағанда төмен болды. Бұл әдіс қарапайым әрі түсінікті болғанымен, үлкен деректер жиынтықтары мен уақыттық деректермен жұмыс істеуде шектеулі мүмкіндіктерге ие.

Нәтиже

Зерттеу нәтижелеріне сүйене отырып, машиналық оқыту модельдерінің әртүрлі әдістері созылмалы аурулардың асқынуларын болжауда жоғары дәлдікке қол жеткізе алады. Ең жоғары нәтижелер *терең оқыту* және *LSTM* сияқты әдістерден алынды, өйткені олар деректердің уақыттық аспектілерін тиімді талдайды және күрделі жүйелерді болжай алады.

Бірақ болжау дәлдігіне әсер ететін басқа факторлар да бар, мысалы, деректер сапасы, киілетін құрылғылардың сенсорының дәлдігі және жинақталған деректер көлемі. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, деректер көлемі көп болған сайын болжамның дәлдігі де жоғарылайды.

Қорытынды

Киілетін құрылғылардан алынған деректерді пайдалану арқылы созылмалы аурулардың асқынуларын болжау денсаулық сақтау саласында жаңа мүмкіндіктер ашады. Бұл шолудағы зерттеулер киілетін құрылғылардың деректерін өңдеудің әртүрлі әдістерін

салыстыра отырып, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін көрсетті. Ең жоғары дәлдікке қол жеткізген әдістер терең оқыту және уақыттық деректерді талдауға бейімделген әдістер болды. Болашақта деректер сапасын арттыру және модельдерді жетілдіру созылмалы аурулармен күресте маңызды қадам болмақ.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Ghosh, A. Deep Learning for Heart Disease Prediction Using Wearable Device Data / A. Ghosh // Journal of Healthcare Informatics Research. – 2023. – Vol. 5. – P. 123-135.
2. Patel, K. Wearable Sensors for Chronic Disease Management: A Review / K. Patel // Journal of Medical Systems. – 2022. – Vol. 42, No. 10.
3. Smith, J. Predicting Cardiovascular Events Using Wearable Devices: Machine Learning Approaches / J. Smith et al. // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2022. – Vol. 69, No. 5.
4. Zhang, L. LSTM Networks for Health Monitoring with Wearable Devices / L. Zhang // Computational Intelligence in Healthcare. – 2021. – P. 251-265.
5. Chen, X. Gradient Boosting Models for Chronic Disease Prediction Using Wearable Data / X. Chen et al. // Machine Learning in Medicine. – 2023. – Vol. 18, No. 3.
6. Wang, P. Decision Trees for Wearable Device Data in Hypertension Prediction / P. Wang et al. // Medical Data Science Journal. – 2020. – Vol. 24. – P. 54-72.
7. Lee, D. Support Vector Machines for Sleep Quality and Heart Rate Data from Wearables / D. Lee et al. // Biomedical Data Analytics. – 2021. – Vol. 33, No. 7. – P. 290-310.
8. Garcia, M. Deep Learning Models for Predicting Oxygen Saturation with Wearable Devices / M. Garcia et al. // Journal of AI in Medicine. – 2023. – Vol. 19, No. 4.
9. Kim, H. Random Forest Algorithms for Chronic Disease Prediction Using Wearables / H. Kim et al. // Journal of Applied Health Research. – 2022. – Vol. 29. – P. 123-142.
10. O'Connor, P. Convolutional Neural Networks for Real-Time Chronic Disease Monitoring / P. O'Connor et al. // Medical Machine Learning Journal. – 2023. – Vol. 18, No. 6. – P. 187-199.

Қарасаева Айғаным Амангелдіқызы – докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
Алматы; e-mail: karassayeva.aiganym@gmail.com

СИНЕРГИЯ СТАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ИНТЕГРАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.М. Ахметова, Н.Д. Абдурахманов
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. *В этой работе исследуется совместное использование передовых статистических методов в компьютерном зрении, а именно симуляции Монте-Карло и байесовского вывода, специально интегрированных с платформой обнаружения объектов YOLO (You Look Only Once). Синергетическое использование моделирования Монте-Карло и байесовского вывода повышает надежность YOLO за счет предоставления подробных оценок неопределенности и четко упорядоченных прогнозов обнаружения объектов. Сравнительный анализ этих двух статистических методов раскрывает их сильные стороны и возможности применения в контексте проблем компьютерного зрения.*

Ключевые слова: *интеллектуальное управление, компьютерное зрение, моделирование, машинное обучение.*

Введение

В динамичном ландшафте компьютерного зрения стремление к точности и надежности обнаружения объектов привело к слиянию передовых статистических методов с самыми современными платформами. В этой статье исследуется симбиотическая связь между моделированием по методу Монте-Карло и байесовским выводом при интеграции со знаменитой платформой обнаружения объектов YOLO (You Only Look Once). Слияние этих передовых статистических методологий не только уточняет прогнозы обнаружения объектов, но и обеспечивает тонкое понимание неопределенности, что имеет решающее значение в реальных приложениях.

Моделирование по методу Монте-Карло, известное своей универсальностью в решении сложных задач с помощью случайной выборки, и байесовский вывод, верный в обновлении убеждений на основе наблюдаемых данных, предлагают взаимодополняющие подходы к оценке неопределенности. В данной статье проводится сравнительный анализ этих двух статистических мощных источников, проливающий свет на их уникальные атрибуты и демонстрирующий, как их совместное применение может повысить возможности YOLO в задачах обнаружения объектов.

Признавая ключевую роль эффективного управления данными в жизненном цикле разработки моделей компьютерного зрения, в данной статье также делается акцент на интеграции баз данных. Практическая иллюстрация с использованием Python и SQLite демонстрирует, как база данных может беспрепятственно хранить и извлекать аннотации YOLO, обогащая процессы обучения и проверки.

С помощью этого исследования мы стремимся обеспечить целостное понимание нюансов сильных сторон моделирования по методу Монте-Карло и байесовского вывода, представляя дорожную карту для их интеграции с YOLO. Это направление не только вносит вклад в теоретические основы статистических методологий в области компьютерного зрения, но и закладывает основу для разработки систем обнаружения объектов, учитывающих неопределенность и более информированных. Присоединяйтесь к нам в этом путешествии по пересечению статистических выводов, передовых платформ и эффективного управления данными, пока мы ориентируемся в области передовых методов компьютерного зрения.

Постановления задач

Метод моделирования Монте-Карло (ММ-К) и байесовская теория интегрированы в платформу YOLO, повышая точность обнаружения объектов с учетом неопределенности обнаружения объектов. Это повышает точность прогнозов в условиях изменения данных и обеспечивает их достоверность.

Описание:

— YOLO — популярная модель обнаружения объектов, хоть и показывает высокую производительность, но не учитывает неопределенность данных.

- ММ-К позволяет решать сложные задачи методом случайной выборки, что позволяет оценить неопределенность в системе.

- Байесовская теория обновляет апостериорные вероятности на основе новых наблюдений, что важно для точного учета неопределенности.

- Объединив эти подходы, необходимо повысить возможности YOLO по обнаружению объектов в задачах с неопределенностями.

Эффективное управление и хранение данных.

Интеграция базы данных SQLite в Python для хранения и извлечения аннотаций YOLO обогащает процесс обучения и проверки этих моделей.

- База данных играет важную роль для эффективного хранения и поиска аннотаций YOLO.

- Продемонстрировать, как эффективно интегрировать манипулирование данными и моделирование в процесс разработки с использованием SQLite с Python.

- Эта система управления полезна для улучшения процесса обучения и точности моделей.

Оценка синергии методов моделирования.[1]

Метод моделирования предназначен для изучения взаимодействия между Монте-Карло и байесовской теорией, чтобы оценить их роль в улучшении возможностей обнаружения объектов во время интеграции с YOLO.

- Сравнивая особенности ММ-К и байесовской теории, показывая преимущества их совместного использования.

- Повышение эффективности управления и оценки неопределенности в задачах идентификации объектов.[2]

- Оценить практические результаты и эффективность их комплексного подхода.

Решая эти задачи, предполагается предпринять шаги в направлении совершенствования системы обнаружения объектов на платформе YOLO с учетом неопределенностей и эффективного управления данными.

2. Алгоритм решения задач

1. Моделирование по методу Монте-Карло и интеграция YOLO:

1.1 Общие сведения:

Моделирование по методу Монте-Карло, вычислительный метод, использующий случайную выборку, находит привлекательное применение при интеграции с YOLO для обнаружения объектов. Итеративный характер однопроходного подхода YOLO позволяет проводить несколько симуляций, внося изменения во входные данные или параметры модели для создания распределения потенциальных местоположений объектов. Этот набор прогнозов не только уточняет результаты обнаружения, но и дает ценные оценки неопределенности.

1.2 Шаблонный подход:

Фундаментальная формула моделирования по методу Монте-Карло включает в себя усреднение результатов нескольких симуляций, что обеспечивает надежную меру достоверности обнаруженных объектов [8]

$$Average = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} Simulation$$

2. Байесовский вывод и интеграция YOLO:

a. Использование контекстной информации:

Байесовский вывод, статистический метод, обновляющий гипотезы, основанные на наблюдаемых доказательствах, оказывается бесценным для уточнения прогнозов YOLO. Используя априорные знания и динамически корректируя вероятности классов объектов, байесовский вывод повышает адаптивность YOLO в сложных сценариях обнаружения.

b. Теорема Байеса в действии:

Применение теоремы Байеса является ключевым в байесовском выводе, обновляя распределение вероятностей гипотезы с учетом новых данных:

$$P(Hypothesis \vee Data) = \frac{P(Data \vee Hyothesis) \cdot P(Hypothesis)}{P(Data)}$$

3. Сравнительный анализ: Монте-Карло и байесовский вывод:

3.1 Сильные и слабые стороны:

Сравнительный анализ выявляет сильные и слабые стороны моделирования по методу Монте-Карло и байесовского вывода. Метод Монте-Карло превосходно справляется со сложными задачами, но может испытывать трудности с многомерными пространствами, в то время как байесовский вывод обеспечивает принципиальную основу для обновления убеждений, но может быть требовательным к вычислительным ресурсам.

3.2 Практические соображения:

Выбор между этими методологиями зависит от конкретных требований задачи компьютерного зрения. Моделирование по методу Монте-Карло может проявить себя в сценариях, требующих исследования пространств решений, в то время как байесовский вывод может быть предпочтительнее для задач, в которых априорные знания существенно влияют на результаты.

4. Интеграция баз данных для расширенного управления данными:

4.1 Хранение аннотаций YOLO:

Объединение этих методологий с базой данных имеет первостепенное значение для эффективного управления данными. Пример на основе Python с использованием SQLite демонстрирует создание таблицы базы данных для хранения аннотаций YOLO, предоставляя структурированный и доступный репозиторий для данных обучения и проверки.

4.2 Запрос и получение данных:

Интеграция с базой данных упрощает запросы и извлечение данных, позволяя модели получать доступ к историческим аннотациям для байесовского вывода или анализировать результаты моделирования в экспериментах по методу Монте-Карло. [10]

5. Подключение к базам данных для расширенных приложений компьютерного зрения:

5.1. Моделирование по методу Монте-Карло и интеграция баз данных:

Внедрение моделирования по методу Монте-Карло в рабочие процессы компьютерного зрения часто включает в себя генерацию различных наборов данных с помощью итеративной выборки. Соединение этого процесса с базой данных обеспечивает эффективное хранение и извлечение этих разнообразных наборов данных. Благодаря структурированному хранению параметров моделирования, промежуточных результатов и конечных результатов база данных становится ценным активом как для анализа, так и для совершенствования модели.

```
'''Питон
 Пример: Хранение результатов моделирования по методу Монте-Карло в базе данных
def store_monte_carlo_results(simulation_id, result_data):
    conn = sqlite3.connect('your_database.db')
    cursor = conn.cursor()

     Вставка результатов моделирования в базу данных
    cursor.execute('''
        ВСТАВИТЬ В monte_carlo_results (simulation_id, result_data)
        ЗНАЧЕНИЯ (?, ?)
    ''', (simulation_id, result_data))
     Зафиксируйте изменения и закройте соединение
    conn.commit()
    conn.close()
'''
```

5.2. Байесовский вывод и подключение к базе данных:

Байесовский вывод часто требует доступа к историческим данным и предыдущим знаниям. База данных служит централизованным репозиторием для хранения и обновления этой информации, обеспечивая бесшовную интеграцию в модель YOLO. Сохраняя и извлекая априорные вероятности, байесовские модели со временем становятся адаптивными, уточняя прогнозы на основе развивающегося контекстуального понимания.

```
'''Питон
 Пример: Хранение байесовской априорной информации в базе данных
def store_bayesian_prior(class_name, prior_probability):
    conn = sqlite3.connect('your_database.db')
    cursor = conn.cursor()

     Вставка байесовской априорной информации в базу данных
    cursor.execute('''
        ВСТАВИТЬ В bayesian_priors (class_name, prior_probability)
        ЗНАЧЕНИЯ (?, ?)
    ''', (class_name, prior_probability))

     Зафиксируйте изменения и закройте соединение
    conn.commit()
    conn.close()
'''
```

5.3. Аннотации YOLO и взаимодействие с базой данных:

Хранение аннотаций YOLO в базе данных улучшает управление данными во время обучения и проверки модели. База данных становится централизованным центром путей к изображениям, классов объектов и координат ограничивающих рамок. Такой структурированный подход облегчает извлечение размеченных данных для обучения моделей YOLO и обеспечивает систематическую запись аннотированной информации.

```
'''
 Пример: Хранение аннотаций YOLO в базе данных
def store_yolo_annotation(image_path, object_class, bounding_box):
    conn = sqlite3.connect('your_database.db')
    cursor = conn.cursor()

     Вставка данных аннотаций YOLO в базу данных
    cursor.execute('''
        ВСТАВИТЬ В yolo_annotations (image_path, object_class, bounding_box)
        ЦЕННОСТИ (?, ?, ?)
    ''', (image_path, object_class, bounding_box))

     Зафиксируйте изменения и закройте соединение
    conn.commit()
    conn.close()
'''
```

Датасеты и метрики: Мы проводим эксперименты на различных видеоданных, оценивая эффективность обнаружения объектов и точность оценки неопределенности с помощью стандартных метрик (Рисунок 1).

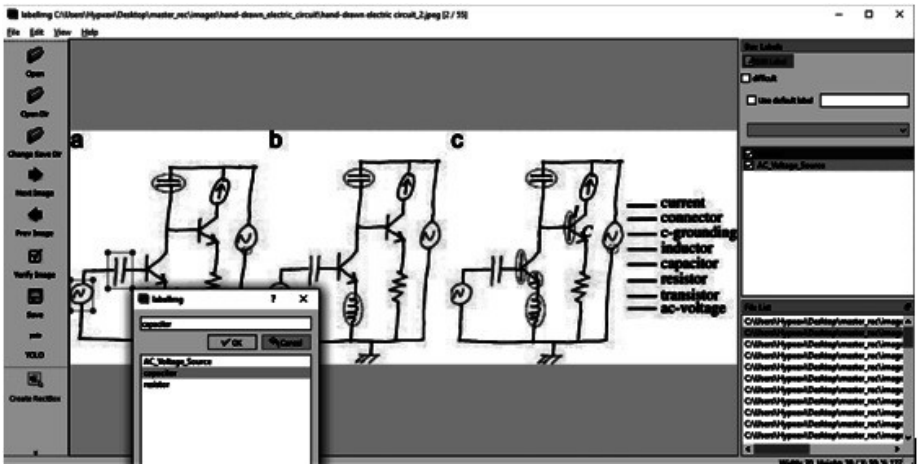


Рисунок 1. Маркировка объектов

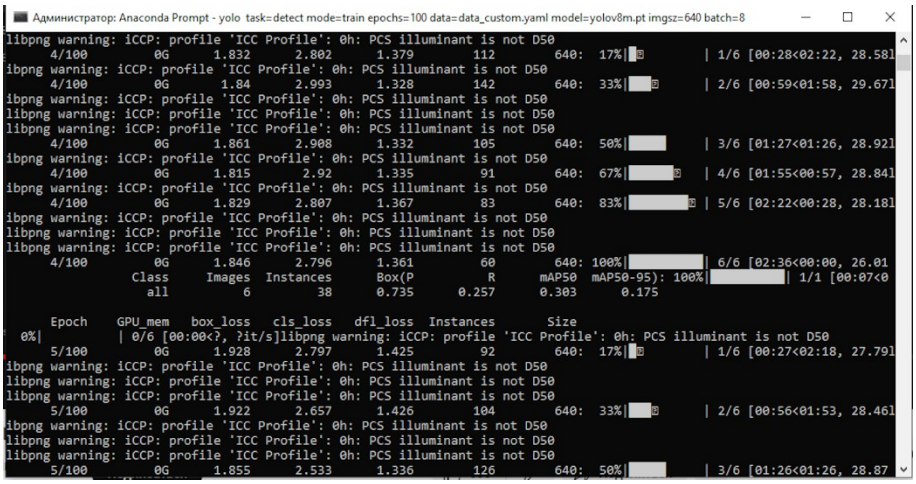


Рисунок 2. Обучение модели

Сравнение с другими методами: Мы сравниваем наш подход с традиционными методами обнаружения объектов и другими подходами к оценке неопределенности, чтобы подтвердить его превосходство (Рисунок 2).

Обсуждение результатов: Обсуждаются полученные результаты и выделяются преимущества предложенного метода в контексте обнаружения объектов на видео и оценки неопределенности (Рисунки 3-5).

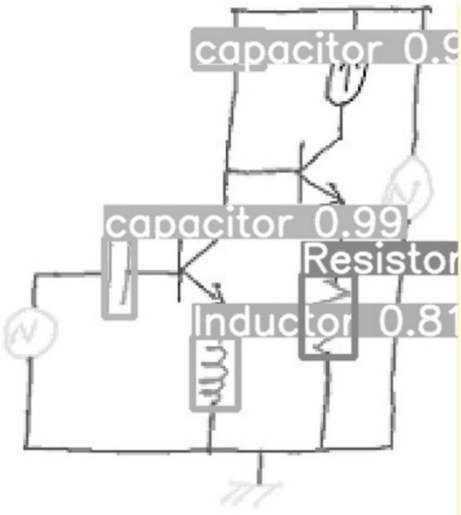


Рисунок 3. Результат обучения

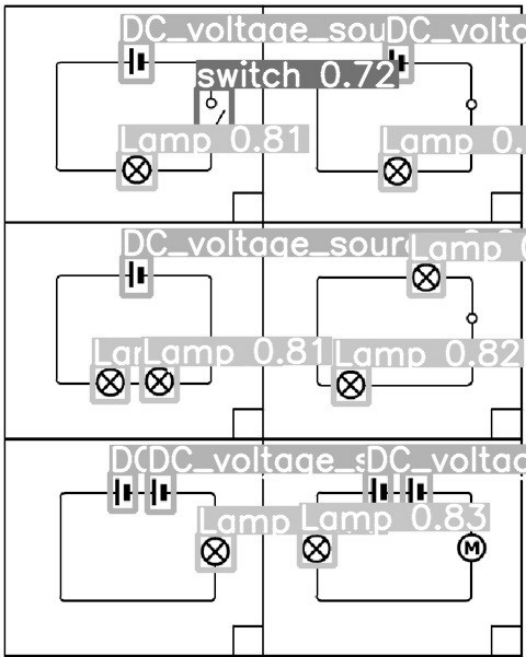


Рисунок 4. Результат обучения

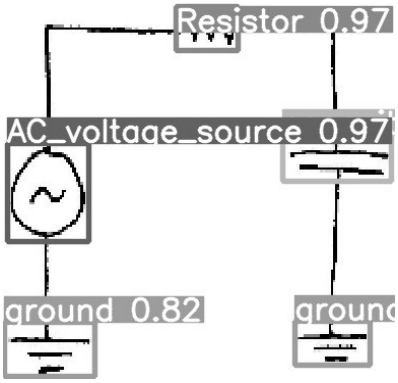


Рисунок 5. Результат обучения

4. Заключение

В стремлении расширить возможности обнаружения объектов в области компьютерного зрения, это исследование раскрыло симбиотические отношения между моделированием по методу Монте-Карло, байесовским выводом и фреймворком YOLO. Интеграция этих передовых статистических методологий способствует смене парадигмы, предлагая не только уточненные прогнозы обнаружения объектов, но и тонкое понимание неопределенности, что является обязательным аспектом в реальных приложениях.

Сравнительный анализ моделирования по методу Монте-Карло и байесовского вывода выявил их сильные стороны и контекстуальное применение. Метод Монте-Карло превосходно справляется со сложными задачами большой размерности, в то время как байесовский вывод преуспевает в сценариях, требующих включения априорных знаний для уточнения прогнозов. Признавая важность эффективного управления данными, мы продемонстрировали бесшовную интеграцию этих статистических методологий с базой данных.

Структурированная база данных, построенная на основе Python с использованием SQLite, служит центральным репозиторием для аннотаций YOLO, результатов

моделирования по методу Монте-Карло и байесовских априорных значений. Такая интеграция не только оптимизирует управление данными во время обучения и валидации, но и закладывает основу для принятия обоснованных решений.

В заключение мы пришли к выводу, что это исследование является свидетельством потенциала, раскрытого благодаря слиянию статистических методологий и передовых фреймворков. Междисциплинарная конвергенция моделирования по методу Монте-Карло, байесовского вывода и YOLO с эффективным управлением базами данных выводит компьютерное зрение на новые рубежи. Такой подход не только повышает надежность и точность систем обнаружения объектов, но и создает основу для моделей, учитывающих неопределенность.

Заглядывая в будущее, можно сказать, что в будущем нас ждут новые направления исследований, в том числе изучение гибридных подходов, которые объединяют сильные стороны моделирования по методу Монте-Карло и байесовского вывода. Более того, интеграция более сложных баз данных для крупномасштабных реальных приложений обещает дальнейшее расширение возможностей систем компьютерного зрения. По мере того, как мы вступаем на этот трансформационный путь, слияние статистического вывода, передовых платформ и эффективного управления данными обещает изменить ландшафт компьютерного зрения.

Список литературы

1. Байесовский вывод модели спектрального графа для осцилляций мозга Х Цзинь,. Верма,Ф Цзян,С.С. Нагараджан,Радж- NeuroImage, 2023 – Elsevier https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811923004299.
2. Иерархический байесовский вывод для обнаружения сообществ и связей функциональных сетей мозга
3. В. Л. Бянь,Н Ван,Л. Новелли,Джей Кит,А Рази- Препринт arXiv arXiv ..., 2023 - arxiv.org https://arxiv.org/pdf/2301.07386.pdf
4. Г. Связь ЭЭГ при СДВГ в сравнении с нормативной базой данных: когортный анализ 120 испытуемых из исследования ICAN
5. Д. К. Керсон, Д. Любар, Р. де Беус,Х Пан, Р. Райс... - Прикладной ..., 2023 – Springer
6. Е. Арнольд, Л. Э., Арнс, М., Бартериан, Дж., Бергман, Р., Блэк, С., Коннерс, К. К., Коннор, С., Дасгупта, С., де Беус, Р., Хиггинс, Т., Хиршберг, Л., Холлуэй, Д. А., Керсон, К., Лайтстоун, Х., Лофтхаус, Н., Любар, Дж., Макбернетт, К., Монастра, В., Бьюкен-Пейдж, К., ... Уильямс, С. Э. (2021). Двойное слепое плацебо-контролируемое рандомизированное клиническое исследование нейробиоуправления при синдроме дефицита внимания/гиперактивности с 13-месячным наблюдением. Журнал Американской академии детской и подростковой психиатрии, 2020. - 60(7). – С. 841–855. https:// doi. Организация/ 10. 1016/J. Jaac.. 07. 906.
7. И. Байесовская оптимизированная модель глубокого обучения для сегментации моделей износа под мостовыми настилами, сфотографированными беспилотным летательным аппаратом CY Liu, JS Chou - Автоматизация в строительстве, 2023 г. – Elsevier.
8. САМИ БУРУИ 1 , РОБЕА АЛРОБЕА 1 , САИД РУБАИ 2 , МУРАД ANDEJANY2 , ФАХАД М. ALMANSOUR3 , И НИЗАР БУГИЛА 4 , К. Байесовский вывод на основе Монте-Карло на основе цепи Маркова для изучения конечных и бесконечных инвертированных моделей бета-смеси Лиувилля (IEEE(2021) https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9427263

Ахметова Ардақ Мергенбаевна – Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби и.о. доцента, ст.преподаватель; 050000, Алматы

Абдурахманов Нуркен – Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби; 050000, PhD. Алматы

АНАЛИЗ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ

А.А.Абдилдаева, Ә.Ә.Байғара
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. *В современной быстро меняющейся бизнес-среде автоматизация процессов стала необходимостью для организаций, стремящихся к эффективности, масштабируемости и конкурентному преимуществу. Искусственный интеллект (ИИ) находится на переднем крае автоматизации бизнес-процессов (BPA), предлагая инструменты, которые улучшают принятие решений, сокращают ручную работу и оптимизируют сложные рабочие процессы. В этой статье рассматривается роль ИИ в современных системах BPA, сравниваются ведущие решения и оценивается их эффективность на основе нескольких критериев, включая масштабируемость, простоту внедрения и область автоматизации. Результаты показывают, что системы BPA на основе ИИ обеспечивают значительные преимущества, хотя остаются такие проблемы, как стоимость, сложность интеграции и этические соображения.*

Ключевые слова: *бизнес-процесс, искусственный интеллект, анализ, автоматизация.*

Введение

Автоматизация бизнес-процессов (BPA) исторически была сосредоточена на повышении эффективности повторяющихся задач. Изначально автоматизация ограничивалась системами на основе правил, которые следовали предопределенным рабочим процессам. Однако с внедрением ИИ системы BPA эволюционировали для обработки более сложных задач, управляемых данными, позволяя организациям оптимизировать не только рутинные процессы, но и принятие решений высокого уровня. BPA на базе ИИ интегрирует передовые технологии, такие как машинное обучение, обработка естественного языка и роботизированная автоматизация процессов (RPA), обеспечивая более адаптивный и интеллектуальный подход к управлению бизнес-операциями.

Целью этой статьи является анализ и сравнение современных систем BPA на основе ИИ, оценка их сильных и слабых сторон, а также потенциала будущего роста. Рассматриваемые системы включают ведущие в отрасли платформы, такие как UiPath, Automation Anywhere и Blue Prism, а также решения на основе ИИ, которые используют глубокое обучение и аналитику данных.

Основная часть

1. **Эволюция автоматизации бизнес-процессов**. Традиционные системы BPA были разработаны для решения конкретных, повторяющихся задач в организации, таких как обработка счетов-фактур, ввод данных или рабочие процессы обслуживания клиентов. Ранние решения по автоматизации были в значительной степени основаны на правилах, что означало, что для их работы требовались точные инструкции. Эта жесткость ограничивала их способность адаптироваться к динамическим изменениям реального мира. Включение ИИ в BPA изменило эту парадигму, позволив системам учиться на данных, адаптироваться к новым ситуациям и предлагать прогностические возможности. Системы BPA с улучшенным ИИ теперь могут автоматизировать более сложные задачи, такие как

обнаружение мошенничества, анализ настроений и оптимизация цепочки поставок, предлагая информацию в реальном времени [1].

2. **ИИ в системах BPA: ключевые технологии**. ИИ привносит множество передовых технологий в сферу автоматизации бизнес-процессов

o *Машинное обучение (МО):* алгоритмы МО

o *Обработка естественного языка (NLP):* NLP позволяет автоматизировать задачи, связанные с неструктурированными данными, такими как запросы клиентов или обработка документов. Например, с помощью чат-ботов на базе ИИ компании могут предоставлять более персонализированную поддержку клиентов с минимальным вмешательством человека [2].

o *Роботизированная автоматизация процессов (RPA):* ИИ, интегрированный с RPA, позволяет ботам обрабатывать более тонкие и когнитивные задачи, а не простые процессы на основе правил. Это особенно полезно в таких отраслях, как здравоохранение, где такие процессы, как управление данными пациентов, могут быть как повторяющимися, так и сложными [3].

3. Сравнительная оценка ведущих систем BPA на базе ИИ

При сравнении различных систем BPA необходимо учитывать несколько ключевых факторов: масштабируемость, простота внедрения, возможности интеграции, набор функций ИИ и общая экономическая эффективность. В следующей таблице 1 суммированы результаты сравнения:

Таблица 1. Экономическая эффективность

Система БФА	Возможности ИИ	Масштабируемость	Простота интеграции	Расходы	Лучшее для
UiPath	NLP, ML, RPA	Высокий	Бесперебойная работа с API	Умеренный	Крупные предприятия, SMEs (МСП)
Автоматизация в любом месте	ML, предиктивный ИИ	Высокий	Сильная поддержка облака	Высокий	Глобальные организации
Синяя призма	RPA на базе ИИ	Умеренный	Комплексные интеграции	Умеренный	Производство, Банковское дело
WorkFusion	Интеллектуальное OCR, ИИ	Высокий	Интеграция на основе ИИ	Высокий	Финансы, Соблюдение норм
Microsoft Power Автоматизация	Базовые модели ИИ	Умеренный	Безупречное взаимодействие с продуктами MS	Низкий	Малый бизнес

o *UiPath:* известный своими мощными возможностями RPA, UiPath включил машинное обучение и NLP для обработки как структурированных, так и неструктурированных данных. Его удобный интерфейс и широкие возможности интеграции делают его одним из самых популярных вариантов для компаний разных размеров.

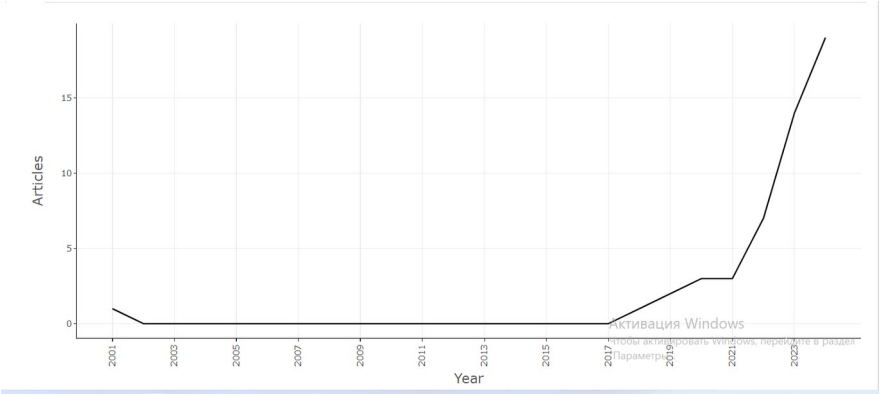
o *Automation Anywhere:* предлагая одну из самых всеобъемлющих платформ автоматизации на основе ИИ, Automation Anywhere фокусируется на облачных решениях. Его возможности предиктивной аналитики и дополненная ИИ RPA предоставляют предприятиям действенные идеи.

- *Blue Prism:* Blue Prism часто выбирается крупными предприятиями для сложных рабочих процессов, использует ботов на базе ИИ для автоматизации когнитивных задач. Однако сложность интеграции выше по сравнению с конкурентами, что делает его менее подходящим для малого бизнеса.
- *WorkFusion:* Специализируясь на отраслях, где действуют жесткие требования соответствия, WorkFusion предлагает интеллектуальную автоматизацию на основе ИИ. Его мощные возможности OCR (оптического распознавания символов) и аналитики делают его идеальным для финансового и медицинского секторов [4].
- *Microsoft Power Automate:* несмотря на ограниченные возможности искусственного интеллекта, Power Automate хорошо интегрируется с другими продуктами Microsoft и предлагает недорогое решение для малого бизнеса, стремящегося автоматизировать основные рабочие процессы.

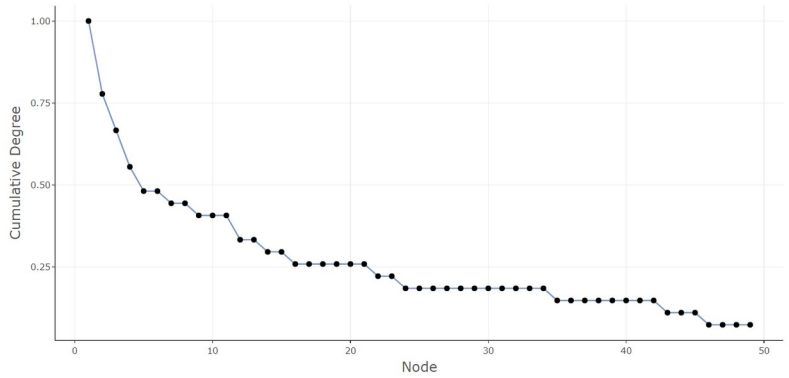
4. **Проблемы и соображения**. Несмотря на то, что ИИ произвел революцию в области АБП, остается ряд проблем:

- *Стоимость:* Внедрение систем BPA на базе ИИ может быть дорогостоящим, особенно для малых и средних предприятий (МСП). Высокие первоначальные затраты и текущие расходы на обслуживание могут ограничить внедрение среди небольших организаций.
- *Сложность интеграции:* не все системы BPA легко интегрируются с существующей ИТ-инфраструктурой, что может привести к дорогостоящим задержкам и сбоям в процессе внедрения.
- *Этические и защитные проблемы:* Поскольку ИИ все больше вовлекается в бизнес-процессы, этические соображения, касающиеся перемещения рабочих мест и прозрачности принятия решений, становятся все более важными. Кроме того, обработка конфиденциальных деловых и клиентских данных в автоматизированных системах создает риски безопасности, которыми необходимо тщательно управлять [5].

По теме "Анализ и сравнительная оценка современных систем автоматизации бизнес-процессов с использованием ИИ" рассматривалось несколько похожих статей и были сделаны следующие графики. В 1- рисунке отображена ежегодная научная продукция по году выпуска и статьи о теме автоматизации бизнес процессов. На 2-рисунке отображена сеть сопутствующих случаев.



1-рисунок. Ежегодная научная продукция



2-рисунок. Сеть сопутствующих случаев

Заключение

Автоматизация бизнес-процессов на основе ИИ значительно расширила возможности организаций по оптимизации и масштабированию своих операций. Благодаря интеграции машинного обучения, обработки естественного языка и RPA эти системы теперь могут справляться с более сложными задачами, предлагать аналитику в реальном времени и улучшать процесс принятия решений. Однако выбор правильной системы BPA зависит от нескольких факторов, включая масштабируемость, простоту интеграции и стоимость. В то время как такие системы, как UiPath и Automation Anywhere, предлагают комплексные функции, подходящие для крупных предприятий, малые предприятия могут предпочесть такие решения, как Microsoft Power Automate, из-за их простоты использования и более низких затрат. Несмотря на очевидные преимущества, для широкого внедрения необходимо решить такие проблемы, как затраты на внедрение и этические соображения. В конечном счете, BPA на основе ИИ имеет большие перспективы для будущего бизнес-операций.

Список использованной литературы

1. José Brás, Ruben Pereira,Sérgio Moro Intelligent Process Automation and Business Continuity: Areas for Future Research, 2023
2. Vincenzo Varriale, Antonello Cammarano, Francesca Michelino, Mauro Caputo Critical analysis of the impact of artificial intelligence integration with cutting-edge technologies for production systems, 2023
3. Nikolaos-Alexandros Perifanis, Fotis Kitsios Investigating the Influence of Artificial Intelligence on Business Value in the Digital Era of Strategy: A Literature Review, 2023
4. Ida Merete Enholm, Emmanouil Papagiannidis, Patrick Mikalef, John Krogstie Artificial Intelligence and Business Value: a Literature Review, 2021
5. Cioffi, R., Travaglioni, M., Piscitelli, G., Petrillo, A., & De Felice, F. Artificial intelligence and machine learning applications in smart production: progress, trends, and directions. Sustainability, 2020 12(2), 492. https://doi.org/10.3390/su12020492.

Абдилдаева Асель Асылбековна – и.о.профессора, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050000, Алматы ; e-mail: abass_81@mail.ru

Байғара Әсем Әбенқызы – докторант 1-курса, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050000, Алматы ; e-mail: baigaraassema@gmail.com

АЗЫҚ ТҮЛІК ЖӘНЕ АГРАРЛЫҚ СЕКТОРЫ КӘСІПОРЫНДАРЫ ҮШІН FPV МАМАНДАНДЫРЫЛҒАН РОБОТТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ

Б.А. Бельгибаев, Н.Б.Жұмахан, Р. Аманова
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Бұл жұмыс FPV (First Person View) мамандандырылған роботтардың ауыл шаруашылығы мен азық-түлік секторындағы мүмкіндіктерін зерттейді. FPV роботтары, мысалы, DJI Agras және Agrobot, технологиялық қуатымен, экономикалық тиімділігімен және интеллектуалды шешімдерімен ерекшеленеді, олар өнімділікті арттыру мен шығындарды азайтуға арналған. Алайда, олардың қолданылуында техникалық шектеулер, жоғары шығындар, интеграция мәселелері және киберқауіпсіздік қатерлері сынды қиындықтар бар. Жұмыста осы мәселелерді шешу үшін коммуникация технологияларын жетілдіру, стандарттар орнату және киберқауіпсіздік шараларын күшейту бойынша ұсыныстар жасалады.*

Кілттік сөздер: *FPV роботтар, ауыл шаруашылығы, технологиялық шешімдер, автоматтандыру, деректерді жіберу*

Кіріспе

Аграрлық және тамақ өнеркәсібі секторлары жаһандық азық-түлік қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады, өйткені халықтың өсуіне байланысты қажеттіліктер тікелей ауыл шаруашылығы мен азық-түлік өндірісінің тиімділігіне тәуелді. Әр жыл сайын сапа, көлем және өндіріс мерзімдеріне қойылатын талаптар күшейіп келеді, бұл салалар үшін қосымша қиындықтар туғызады. Осы қиындықтарды жеңу және тұрақты дамуды қамтамасыз ету үшін кәсіпорындарға өнімділікті арттыру және өндіріс басқару процесін жақсарту үшін инновациялық технологияларды енгізу қажет.

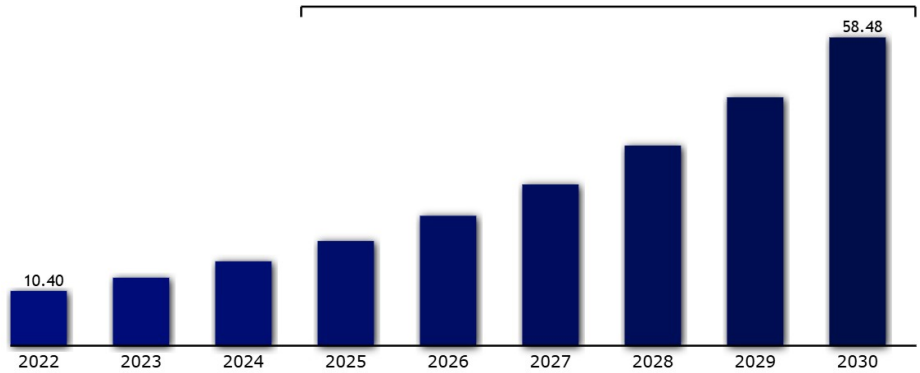
Мұндай перспективалы технологиялардың бірі - FPV (First-Person View) мамандандырылған роботтар мен цифрлық егіздер. FPV-роботтар - бұл операторларға роботтың көзқарасынан ақпарат алуға мүмкіндік беретін камерадан тікелей бейнені пайдаланып басқарылатын құрылғылар. Бұл роботтар егістіктердің жағдайын бақылау, жабдықты тексеру, өнім жинауды автоматтандыру және ауылшаруашылық дақылдарын бүрку сияқты әртүрлі тапсырмаларды орындау үшін пайдаланылуы мүмкін. Тамақ секторында FPV-роботтар өндірістік желілерді тексеру, өнім сапасын бақылау және адам үшін қауіпсіз емес жағдайларда тапсырмаларды орындау үшін қолданылуы мүмкін.

Зерттеу бөлімі

Әлемдік ауылшаруашылық роботтар нарығы 2022 жылы 10,4 миллиард доллар көлемінде бағаланды және 2030 жылға қарай 58,48 миллиард долларға жетеді, ал 2023-2030 жылдар аралығындағы жылдық орташа өсу қарқыны 1-суретте көрсетілген.

Агроботтар, әдетте, ауылшаруашылық роботтар деп аталатын, ауыл шаруашылығы секторындағы соңғы жетістіктердің бірі. Бүкіл әлемде халықтың өсуімен тамаққа деген сұраныс артып келеді. Нәтижесінде фермерлер жалпы өндіріс көлемін арттыру және табысты ұлғайту үшін ауылшаруашылық роботтар сияқты заманауи құралдар мен техниканы қабылдауға көшуде. Жұмысшы жетіспеушілігі мүдделі тараптарды фермаларды жаңартудың жолдарын іздеуге мәжбүр етеді. Мысалы, Американдық фермерлер бюросының (AFBF) зерттеуіне сәйкес, АҚШ-тың 56% фермалары қазіргі уақытта агротехнологияларды пайдаланады, олардың жартысынан көбі жұмыс күшінің жетіспеушілігін атап көрсетеді. Сымсыз сенсорлар, робототехника, болжау модельдері мен деректерді талдау -

агротехнологиядағы алдыңғы қатарлы технологиялардың кейбірі. Нәтижесінде, жалақының өсуі мен жұмысшы күшінің жетіспеушілігі нарықтың кеңеюіне ықпал етеді [1].



1-сурет. Ауылшаруашылық роботтарының әлемдік нарығының 2022 мен 2030 ж аралығындағы өсім динамикасы

Ең үлкен өсу Солтүстік Америкада байқалады, мұнда 2022 жылы өңір әлемдік нарықтың 41,5%-дан астамын қамтыды, бұл үкіметтің елеулі қолдауы мен технологияларды жоғары деңгейде қабылдауға байланысты. Сонымен бірге, ең үлкен динамика Азия-Тынық мұхиты аймағында байқалады, мұнда ауыл шаруашылығын жаңарту қарқынды жүріп жатыр, әсіресе Қытай мен Үндістанда.

Соңғы жылдары ең үлкен өсу Еуропа мен Азия-Тынық мұхиты аймақтарында байқалады. Еуропада роботтандыру азық-түлік қауіпсіздігіне қойылатын талаптардың артуы мен еңбек шығындарының өсуіне жауап болды, ал Азияда орау өнімдеріне және автоматтандыруға сұраныс өсіп келе жатқан кірістер мен урбанизацияның әсерінен күшейеді [2].

Зерттеу әдісі

Зерттеу әдістемесі FPV-роботтарды аграрлық және тамақ өнеркәсібінде қолданумен байланысты ғылыми әдебиет пен техникалық құжаттаманы шолу болды. Негізгі дереккөздер ретінде ғылыми мақалалар, аналитикалық компаниялардың есептері, өндірушілердің техникалық спецификациялары және салалық шолулар қарастырылды, олар бұл технологиялардың қолданылуы, анықталған проблемалар мен ұсынылған шешімдерді қамтиды.

1. Ғылыми мақалалар: Ғылыми әдебиетке *Biosystems Engineering* және *Journal of Field Robotics* журналдарында жарияланған зерттеулер кірді, онда FPV-роботтарды ауыл шаруашылығында, мысалы, егістіктердің жағдайын бақылау, өнім жинау және агрономиялық процестерді басқару сияқты тапсырмаларды орындау мүмкіндіктері егжей-тегжейлі қарастырылған. *Computers and Electronics in Agriculture* журналындағы мақалалар цифрлық егіздер концепциясын, соның ішінде өсімдіктердің өсуін модельдеуді, өнімділікті болжауды және ауыл шаруашылығын өндіруді оңтайландыруды зерттейді [3].

2. Аналитикалық және салалық есептер: Агроөнеркәсіп пен тамақ секторындағы автоматтандыруға арналған роботтар нарығындағы ағымдағы және болжанған трендтер туралы мәліметтер беретін жетекші аналитикалық компаниялардың есептері, *Grand View Research* және *MarketsandMarkets*, зерттелді. Бұл есептер егін жинауға арналған роботтар, роботтандырылған сүт жинау жүйелері мен азық-түлік өнімдерін орау және сұрыптау жабдықтарының дамуымен айналысады.

2-сурет. FPV мамандандырылған робот жіктелуі

3. Техникалық спецификациялар мен өндірушілердің құжаттары: *John Deere* және *Yaskawa Electric Corporation* сияқты өндірушілердің ауыл шаруашылығы мен тамақ өнеркәсібі үшін роботтандырылған шешімдер әзірлейтін техникалық есептері мен спецификациялары қарастырылды. *DJI Agras* секілді тыңайтқыштарды нүктелі енгізу үшін дрондар, *Lely*, *DeLaval* секілді сүтті роботтар, *Fanuc*, *ABB* сияқты орау роботтары сияқты нақты модельдердің сипаттамалары осы технологияларды енгізу мен пайдалану кезіндегі өзекті проблемаларды анықтауға көмектесті.

Осылайша, осы дереккөздерді талдау FPV-роботтарды және цифрлық егіздерді енгізу кезінде киберқауіпсіздік, жабдықтың жоғары құны, техникалық шектеулер мен экономикалық тиімділікті қамтитын негізгі мәселелерді 1-кесте бойынша анықтауға мүмкіндік берді.

Кесте 1. FPV-роботтарды ауыл шаруашылығында пайдалану құрылымы

Кезең	Мәселелері	Мысалы
1.Дайындық кезеңі	Мәселелерді анықтау Жабдықты таңдау Операторларды оқыту	Талаптарды талдау DJI Agras
2.Енгізу кезеңі	Тестілеу және баптау Маршруттар мен тапсырмаларды оңтайландыру	Маршруттарды бағдарламалау
3. Пайдалану	Роботтарды тұрақты пайдалану Деректер жинау және талдау	Мониторинг дрондары - Ecorobotix
4.Нәтижелерді бағалау	Пайдаланудың тиімділігін талдау Жабдық пен бағдарламалық қамтамасыз етуді жетілдіру	-Деректердің салыстырмалы талдауы

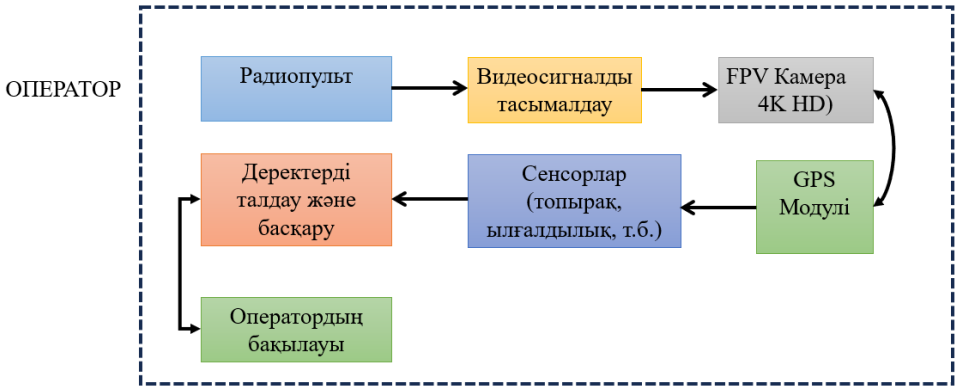
FPV (First-Person View) жүйесін ауылшаруашылық роботтары үшін құру схемасы 3-суретте көрсетілгендей бірнеше негізгі компоненттерді қамтиды. Мұндай жүйені қарастыратын нақты мысал ретінде DJI Agras MG-1 дронын алайық. Бұл дрон агрономиялық жұмыстарда, мысалы, тыңайтқыштар мен пестицидтерді шашу үшін қолданылады.

FPV Жүйесін Құру Схемасы

1. Дронның Негізгі Компоненттері: Камера: Дронның алдыңғы жағында орнатылған камера, операторға дронның көзқарасынан нақты уақытта көрініс береді. GPS Модуль:

Дронның нақты орнын анықтауға мүмкіндік береді, ол автоматтандырылған навигация үшін өте маңызды.

Сенсорлар: Дронда жердің жағдайын бағалау үшін қолданылатын сенсорлар (мысалы, ультракүлгін, инфрақызыл сенсорлар).



3-сурет. FPV мамандандырылған робот басқару жүйесі құрлымы

Кесте 2. FPV Роботтардың анализі

Атауы және Шығарылған Ел	Мақсаты	Технология	Экономикалық тиімділігі	Ақылды шешімдері	Қауіпсіздігі
DJI Agras MG-1 (Қытай)	Тыңайтқыш және пестицидтерді бүрку	Дәл қолдану үшін қуатты бүрку жүйесі және GPS-пен жабдықталған.	Дәстүрлі әдістермен салыстырғанда өнімділікті 10 есе арттырады.	Ресурстарды тиімді пайдалану үшін сенсорлар мен талдау жүйелері бар.	Төмен қуат батареясында автоматты түрде үйге оралу.
Agrobot (Ұлыбритания)	Автоматтандырылған жидек жинау	Піскенін анықтау үшін камералар мен сенсорларды пайдаланады.	Еңбек шығындарын азайтады және жинау жылдамдығын арттырады.	Жемістерді тану және классификациялау үшін машиналық оқыту алгоритмдері.	Жұмысшылар мен соқтығыспау үшін қауіпсіздік жүйелері.
Harvest CROO Robotics (АҚШ)	Құлпынай жинау	Күрделі жерлер үшін манипуляторлар мен навигациялық жүйелерімен жабдықталған	30 жұмысшының орнын баса алады.	Деректерді анықтау және өңдеу жүйелері шешім қабылдауға қолдау көрсетеді.	Адамдармен қауіпсіз өзара әрекеттесу үшін жасалған.
Octinion (Бельгия)	Жидек жинау	Жемістерді жинау кезінде зақымдануды минимизациялау үшін жұмсақ ұстағыштард	Жинау кезінде жоғалтуларды азайтады.	Піскенін анықтау үшін компьютерлік көру жүйелері.	Адамдарға жақын болу үшін қауіпсіздікке назар аударады.

		ы пайдаланады.			
Blue River Technology (Weed It) (АҚШ)	Автоматтандырылған егістік арамшөптермен күресу	Арамшөптерді анықтау үшін компьютерлік көріністі пайдаланады.	Арамшөптерді азайту арқылы шығындарды үнемдейді.	Арамшөптерді анықтау дәлдігін арттыратын терең оқыту алгоритмдері.	Соқтығысу алдын алу жүйелерімен жабдықталған.

FPV роботтары, мысалы, DJI Agras және Agrobot, жоғары технологиялық мүмкіндіктер, экономикалық тиімділік және интеллектуалды шешімдермен қамтамасыз етілген, оларды өнімділікті арттыру және шығындарды азайту үшін тиімді құралдар етеді. Олардың дамуында қауіпсіздік те маңызды аспект болып табылады, бұл оларға адамдармен тығыз қатынаста қолдануға мүмкіндік береді [4].

FPV Роботтарының анализі 2-кесетеде көрсетілген.

Деректерді Жіберу: Ауыл шаруашылығы аудандары, әсіресе шалғайда, FPV роботтарынан деректерді жіберудің тұрақты сигналын қамтамасыз ету қиындықтарына тап болады. Бейне ағындарының жіберілуіндегі кідірістер роботты басқаруды қиындата алады, әсіресе бүрку немесе топырақ өңдеу сияқты күрделі тапсырмалар кезінде.

Шектеулі Автономия: Қазіргі FPV робот модельдері жиі қуаттауды талап етеді, бұл үлкен ауыл шаруашылығы алқаптарында олардың қолданылуын шектейді.

Талқылау

Анализ FPV роботтары қолдануымен байланысты негізгі мәселелер техникалық шектеулер, экономикалық тиімділік және киберқауіпсіздік қауіптері болып табылатынын көрсетті. Осы кедергілерді жеңу үшін кешенді тәсіл қажет, оның ішінде:

1. Байланыс пен Энергия Тиімділігін Жетілдіру: Келесі буын спутниктік және мобильді желілерді (мысалы, 5G) енгізу деректердің тұрақты жіберілуін қамтамасыз ете алады және FPV роботтарын шалғай аудандарда кеңірек қолдануды кеңейте алады.
2. Біріктірілген Стандарттарды Дамыту: Деректер алмасу үшін жалпы стандарттар мен протоколдарды орнату цифрлық егіздерді қолданыстағы IT жүйелерімен интеграциялауды жеңілдетеді және енгізу шығындарын азайтады.
3. Киберқауіпсіздік Шараларын Жақсарту: Деректер мен жабдықтарды желі және құрылғы деңгейінде қорғауға арналған арнайы шешімдер кибершабуылдарға байланысты қауіптерді минимизациялауға көмектеседі.
4. жасанды интеллект пен машиналық оқытуды белсенді пайдалану цифрлық егіздердің модельдерінің дәлдігін арттыра алады және олардың конфигурациялау процестерін автоматтандырады, бұл дамыту шығындарын төмендетуге және болжамды жақсартуға мүмкіндік береді.

Қорытынды

FPV мамандандырылған роботтар ауыл шаруашылығы мен тамақ секторындағы процестерді оңтайландыру үшін елеулі әлеуетке ие; алайда, олардың енгізілуі қиындықтарға толы. Бұл мәселелерді шешу коммуникация технологияларында алға жылжуды, жаңа стандарттарды орнатуды және киберқауіпсіздік шараларын күшейтуді талап етеді. Осындай кешенді тәсілдер тек операциялық тиімділікті арттырып қана қоймай,

сондай-ақ осы маңызды салалардағы жалпы өнімділік пен тұрақтылықты жақсартуға көмектеседі.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Kargupta, H., Joshi, A., Sivakumar, K., & Johnson, E. A Scalable Distributed Data Mining Approach for Distributed Sensor Networks. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2004, 16(10), 1185-1199. https://doi.org/10.1109/TKDE.2004.67
2. Abidi, S. R., Abidi, S. S. R., & Goh, AContext-aware multi-agent decision support for remote patient monitoring. International Journal of Medical Informatics, 2008 , 77(1), 1-10. https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.11.005
3. Жмудь, В. А. Динамика мехатронных систем : учебное пособие / В. А. Жмудь, Г. А. Французова, А. С. Востриков. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2014. — 176 с.
4. Яценков В. С. Твой первый квадрокоптер: теория и практика. — СПб.: БХВ-Петербург, 2016. — 256 с

Бельгибаев Бауржан Абдрахимович – доцент, техникалық ғылымдардың докторы әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы

Жұмахан Нұржан Бейбітұлы - докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан;
Nurzhan_14_95@mail.ru

Аманова Райхан - докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

ӘЛЕУМЕТТІК ҒЫЛЫМДАРДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯ: ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕРДІ ПАЙДАЛАНУДЫҢ МАҢЫЗЫ

М.Е. Мансурова, Д.С. Жайсанова, Д.С. Жылысова

Аңдатпа. *Бұл мақалада цифрлық трансформацияның әлеуметтік ғылымдардағы рөлі және үлкен тілдік модельдердің (ҮТМ) аналитикалық құрал ретінде қолданылуы талқыланады. Әлеуметтік ғылымдарда деректерді жинау және талдау дәстүрлі әдістерден цифрлық деректерге қарай ауысып, көлемі мен күрделілігі артып келеді. ҮТМ табиғи тілді өңдеу және автоматтандырылған мәтіндік талдау арқылы үлкен көлемдегі деректерді өңдеуге мүмкіндік береді. Мақалада ҮТМ-дің негізгі қолдану салалары мен артықшылықтары қарастырылып, оларды қолдану шектеулері де айтылған. Сондай-ақ, ҮТМ-дің әлеуметтік зерттеулерде тиімді көмекші құрал ретінде пайдаланылу мүмкіндіктері талданады.*

Кілттік сөздер: *цифрлық трансформация, әлеуметтік ғылымдар, үлкен тілдік модельдер, деректерді талдау, жасанды интеллект, автоматтандырылған мәтіндік талдау.*

Кіріспе

Цифрлық трансформация қоғамның әр саласына ықпалын тигізіп жатыр. Әлеуметтік ғылымдар да бұл өзгерістерден тыс қалмайды, себебі олардың зерттеу нысаны — адам және қоғам, ал цифрлық технологиялар осы зерттеу нысанының әрбір аспектісін қамтиды. Цифрландыру жаңа мүмкіндіктер аша отырып, әлеуметтік ғылымдарға деректерді талдау әдістерін жаңарту қажеттілігін алға қояды. Осы тұста үлкен тілдік модельдер (ҮТМ) басты орынға шығады. Олар деректердің үлкен көлемін тиімді талдауға және қоғамдағы үрдістерді тереңірек түсінуге мүмкіндік береді.

Мақалада цифрлық трансформацияның әлеуметтік ғылымдарға әсері мен ҮТМ-дің әлеуеті талқыланады. Сондай-ақ, ҮТМ-дің табиғи тілді өңдеу, автоматтандырылған мәтіндік талдау, көптілді деректерді талдау сияқты негізгі функциялары мен олардың әлеуметтік зерттеулерде қолданылу әдістері қарастырылады.

Цифрлық трансформация және әлеуметтік ғылымдар

Цифрлық трансформация – бұл дәстүрлі әдістер мен құралдарды жаңа, цифрлық технологиялармен алмастыру немесе толықтыру процесі. Бұл процесс білім алуға, жұмыс істеуге және қоғаммен қарым-қатынас жасауға айтарлықтай әсерін тигізді. Әлеуметтік ғылымдарда цифрлық трансформация әлеуметтік желілердегі үлкен деректерді, интернет-форумдардағы талқылауларды, және басқа да цифрлық коммуникациялардан алынған ақпаратты талдауды қамтиды.

Цифрлық трансформацияның әлеуметтік ғылымдардағы маңыздылығының бірі — зерттеу әдістерінің жаңаруы. Дәстүрлі түрде қолданылатын сауалнамалар, сұхбаттар және бақылау әдістері шектеулі деректер көлемімен ғана жұмыс істей алатын болса, қазіргі кезде интернеттегі деректерді жинау мен талдау мүмкіндіктері қоғамды зерттеудің жаңа деңгейіне көтерілді. Бұл жағдайда деректердің үлкен көлемі мен күрделілігін өңдеу қажеттілігі туындайды, ал мұнда ҮТМ маңызды рөл атқарады [1].

Үлкен тілдік модельдер және олардың әлеуеті

Үлкен тілдік модельдер — жасанды интеллекттің дамуының бір көрінісі, олар табиғи тілді түсіну және өңдеу қабілетіне ие. Бұл модельдер үлкен көлемдегі мәтіндермен жұмыс істей алады, яғни оларды талдап, маңызды ақпаратты бөліп, автоматты түрде қорытынды жасай алады. ҮТМ-дің ең танымал мысалдарына OpenAI компаниясының GPT

сериясындағы модельдері жатады. Олар миллиардтаған сөз тіркестерін үйрену арқылы адам тілін түсініп, оған жауап бере алады [8].

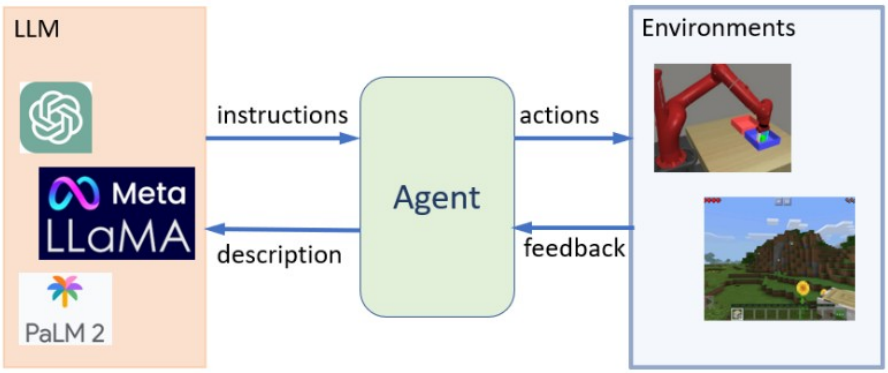
ҮТМ әлеуметтік ғылымдарда деректерді талдауда бірнеше негізгі бағыттарда қолданылады:

1. **Табиғи тілді өңдеу (NLP)**. ҮТМ табиғи тілдерде жазылған мәтіндерді өңдеуде ерекше қабілеттерге ие. Мысалы, әлеуметтік желілерден жиналған пікірлерді, блогтардағы жазбаларды немесе интернет-форумдардағы талқылауларды талдай отырып, зерттеушілер адамдардың әлеуметтік көзқарастарын, эмоцияларын, құндылықтарын анықтай алады. Бұл деректерді автоматтандырылған түрде өңдеу қоғамдағы өзгерістерді тезірек бақылауға мүмкіндік береді.

2. **Автоматтандырылған мәтіндік талдау**. ҮТМ мәтіндерді автоматты түрде жіктеу, маңызды тақырыптарды анықтау және тенденцияларды шығару арқылы зерттеушілерге үлкен мәтіндік деректермен жұмыс істеуге көмектеседі. Мысалы, әлеуметтанушылар көпшілік бұқаралық ақпарат құралдарындағы тақырыптарды талдау арқылы қоғамның белгілі бір мәселеге қатынасын анықтай алады.

3. **Көптілді деректермен жұмыс**. ҮТМ-дің үлкен мүмкіндіктерінің бірі — әртүрлі тілдерде жұмыс істей білуі. Көптілді әлеуметтік ғылымдар зерттеулері кезінде, әсіресе, жаһандық деңгейде әлеуметтік үрдістерді зерттеу кезінде бұл өте маңызды. Модельдер бірнеше тілдегі деректерді бір мезгілде өңдеп, нәтижелерді салыстыра алады [2].

1-суретте сипатталғандай ҮТМ пайдаланушыға нұсқаулықтар береді, сол нұсқаулық негізінде пайдаланышу өзінің сұранымдарын жазады. Яғни, ҮТМ негізінде жұмыс істейтін жүйе пайдалнушының сұранымына байланысты жауап қайтаруы керек. Бұндай жүйелердің жұмысы деректер аналитикасын оптимизациялауға көп үлесін қосады.



1-сурет. Үлкен тілдік модельмен пайдаланушы арасындағы байланыс

Үлкен тілдік модельдерді әлеуметтік ғылымдарда қолданудың мысалдары

1. *Саяси дискурстарды талдау*. ҮТМ саяси дискурстарды талдау үшін кеңінен қолданылады. Саясаттанушылар әлеуметтік желілерден немесе бұқаралық ақпарат құралдарынан жиналған деректерді пайдалана отырып, қоғамдық пікірлердің өзгерістерін бақылап, саяси трендтерді анықтайды. Бұл модельдер арқылы олар сайлаулар кезінде халықтың қандай мәселелерді маңызды деп санайтынын, үміткерлердің пікірлеріне қалай қарайтынын және жалпы саяси пікірталастардың динамикасын талдай алады.

2. *Эмоционалдық тонды талдау*. Психологтар мен социологтар ҮТМ-ді қолдану арқылы қоғамдағы эмоционалдық жағдайларды анықтай алады. Әлеуметтік желілерден немесе блогтардан жиналған жазбалардың эмоционалдық тонын талдау арқылы зерттеушілер адамдардың белгілі бір оқиғаларға немесе жағдайларға қалай жауап бергенін

түсіне алады. Мысалы, пандемия кезіндегі халықтың эмоционалдық жауаптарын талдау арқылы қоғамдағы стресс деңгейін анықтап, алдын алу шараларын жасауға болады.

3. *Қоғамдық үрдістерді болжау.* ҮТМ арқылы ғалымдар үлкен деректерді талдай отырып, қоғамдағы болашақ үрдістерді болжай алады. Мысалы, адамдардың сатып алу әдеттерін талдау арқылы экономистер болашақ тұтынушылық үрдістерді алдын ала көре алады. Бұл, әсіресе, маркетинг, саясат және қоғамдық денсаулық сақтау сияқты салаларда маңызды [3].

Артықшылықтары мен шектеулері

Үлкен тілдік модельдердің артықшылықтары көп. Біріншіден, олар үлкен көлемдегі деректерді жылдам және тиімді талдауға мүмкіндік береді. Екіншіден, олар бірнеше тілді және мәдени контекстті бір мезгілде өңдей алады. Бұл, әсіресе, халықаралық деңгейде зерттеулер жүргізу кезінде өте маңызды. Үшіншіден, ҮТМ эмоцияларды анықтау, тақырыптарды классификациялау сияқты күрделі тапсырмаларды орындай алады, бұл әлеуметтік ғылымдардағы көптеген зерттеулерді автоматтандыруға мүмкіндік береді [4].

Алайда, ҮТМ-дің шектеулері де бар. Біріншіден, олар деректердің сапасына тәуелді. Егер бастапқы деректер біржақты немесе толық емес болса, модельдің нәтижелері де дәл емес болуы мүмкін. Екіншіден, ҮТМ мәдени және әлеуметтік контекстерді дұрыс түсінбеуі мүмкін, себебі олар тек деректерге негізделген алгоритмдер арқылы жұмыс істейді. Үшіншіден, кейбір әлеуметтік феномендерді толық түсіну үшін адамзат сезімдерін, тәжірибелерін және күрделі әлеуметтік құрылымдарды ескеру қажет, ал мұндай қабілеттер ҮТМ-де шектеулі. 2-суретте ккрсетілген схема бойынша ҮТМ-ді пайдалану арқылы эмоциялармен ме әлеуметтік контексттегі деректерді талдауға болады [5].

2-сурет. «Сұраным – Үлкен тілдік модель – Жауап» байланыс

Деректер аналитикасы әлеуметтік ғылымдарда маңызды рөл атқарады, себебі әлеуметтік құбылыстарды зерттеу үшін нақты деректерді талдау қажет. Әлеуметтік ғылымдар — психология, социология, саясаттану, экономика, антропология сияқты салаларды қамтиды, және деректер аналитикасы осы салалардағы зерттеулердің тиімділігін арттыруға көмектеседі. Әлеуметтік ғылымдарда деректер аналитикасын жасау бойынша қадамдарды қарастырайық.

1. *Мақсаттарды анықтау*

Деректер аналитикасының бірінші қадамы — зерттеу мақсаттарын нақтылау. Мысалы, сіз социологиялық зерттеуде халықтың әлеуметтік-экономикалық жағдайын немесе саяси пікірлерін талдауға ниеттенген болсаңыз, деректер жинау мен талдаудың бағыттарын анықтау қажет.

Мақсаттар мысалдары:

Халықтың саяси көзқарастарын талдау.

Тұтынушылардың сатып алу мінез-құлықтарын зерттеу.

Әлеуметтік желілерде таралған эмоцияларды анықтау.

2. *Деректерді жинау*

Әлеуметтік ғылымдарда деректерді жинаудың бірнеше негізгі көздері бар:

Сауалнамалар: Әлеуметтік зерттеулерде сауалнамалар арқылы респонденттердің пікірлері мен мінез-құлықтары туралы ақпарат жинау.

Интервьюлер: Тікелей сұхбаттар арқылы терең түсініктер мен деректер алу.

Әлеуметтік желілер: Twitter, Facebook, Instagram сияқты платформалардан ақпарат жинау.

Көпшілік деректер: Мемлекеттік статистика, зерттеу институттары мен ұйымдардан алынған ақпарат.

3. *Деректерді өңдеу*

Деректерді жинағаннан кейін, оларды өңдеу қажет. Бұл кезеңге:

Деректерді тазалау: Қате, қайталанатын немесе толық емес деректерді жою.

Кодтау: Сауалнама жауаптарын сандық форматқа келтіру.

Интеграция: Әртүрлі дереккөздерден алынған деректерді біріктіру [6].

4. *Деректерді талдау*

Деректерді талдаудың бірнеше әдісі бар, олар әлеуметтік ғылымдардың түрлі аспектілерін зерттеуге көмектеседі:

Сипаттамалы статистика: Негізгі көрсеткіштерді (орташа, медиана, стандартты ауытқу) есептеу. Мысалы, сауалнамадан алынған респонденттердің жастары мен білім деңгейін талдау.

Кросс-талдау: Бірнеше өзгермеліні салыстыра отырып, қоғамдағы өзгерістерді анықтау. Мысалы, жас ерекшеліктеріне байланысты сатып алу әдеттерін зерттеу.

Машиналық оқыту: Күрделі деректерді талдау үшін модельдер мен алгоритмдерді пайдалану. Мысалы, әлеуметтік желілердегі посттардың эмоционалдық тондарын анықтау үшін нейрондық желілерді қолдану.

Тақырыптық талдау: Мәтіндерден негізгі тақырыптарды немесе тенденцияларды анықтау. Мысалы, әлеуметтік медиа посттарынан белгілі бір мәселеге қатысты пікірлерді шығару.

5. *Нәтижелерді интерпретациялау*

Талдау нәтижелерін интерпретациялау — бұл алынған ақпаратты түсіну және оны ғылыми тұрғыдан дәлелдеу. Мысалы, егер деректер саяси пікірлердің өзгергенін көрсетсе, бұл құбылыстың себептерін түсіну үшін қосымша контекст пен ақпарат қажет.

6. *Шешім қабылдау*

Аналитикалық нәтижелер негізінде шешім қабылдау — әлеуметтік ғылымдардағы зерттеулердің маңызды аспектісі. Нәтижелерді пайдалана отырып, саясаткерлер мен ғалымдар қоғамдағы мәселелерді шешуге көмектесетін нақты ұсыныстарды жасауға болады. Мысалы, сауалнаманың нәтижелері жастар арасында жұмыссыздық мәселесін көрсетсе, онда мемлекеттік бағдарламаларды әзірлеу қажеттілігі туындайды.

7. *Нәтижелерді бағалау*

Аналитиканың соңғы кезеңі — алынған нәтижелер мен шешімдердің тиімділігін бағалау. Әлеуметтік ғылымдарда бұл өте маңызды, себебі зерттеулердің нәтижелері қоғамдағы өзгерістерге әсер етуі мүмкін. Түзетулер мен ұсыныстарды енгізу арқылы әлеуметтік мәселелерді шешу процесін жақсартуға болады [7].

Қорытынды

Цифрлық трансформация әлеуметтік ғылымдарда жаңа мүмкіндіктер мен сын-тегеуріндер әкелді. Үлкен тілдік модельдер, әсіресе, деректерді талдау мен түсінуде маңызды құралға айналды. Олар табиғи тілдерді өңдеуді жеңілдетіп, ғалымдарға үлкен деректердің астарындағы маңызды үрдістерді көруге мүмкіндік береді. Дегенмен, ҮТМ тек көмекші құрал ретінде қарастырылуы тиіс, өйткені олар әлеуметтік ғылымдардағы адамзат тәжірибесін толығымен алмастыра алмайды. Болашақта ҮТМ мен адамның зияткерлік күштерін біріктіру арқылы әлеуметтік ғылымдарда тереңірек зерттеулер жүргізу мүмкіндіктері артады.

Әдебиеттер тізімі

1. Bender, E. M., & Koller, A. (2020). Climbing towards NLU: On meaning, form, and understanding in the age of data. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics.
2. Sunstein, C. R. (2018). #Republic: Divided Democracy in the Age of Social Media. Princeton University Press
3. Аубакыров, Е., & Жанбаев, М. (2022). Қазақстандағы әлеуметтік медиа: Пікірлер мен мінез-құлықты талдау. *Қазақстанның ақпараттық және әлеуметтік зерттеулер журналы*, 5(2), 123-137.
4. Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri in my hand, who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. Business Horizons, 62(1), 15-25.
5. Heath, T., & Lalli, V. (2021). *AI for Social Good: The Role of Artificial Intelligence in Solving Societal Challenges*. IEEE Access.
6. Papageorgiou, A., & Kafentzis, K. (2022). *Data Science in Social Research: Methodological and Ethical Perspectives*. IGI Global.
7. Morstatter, F., et al. (2022). A Survey on Data Mining for Social Media: Research Directions and Challenges. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 13(4), 1-41.
8. Есболат, А., & Исабекова, Г. (2022). Деректердің әлеуметтік ғылымдардағы рөлі: Қазақстан контекстіндегі аналитикалық тәсілдер. *Әлеуметтік зерттеулер журналы*, 12(3), 89-104.

Мадина Есимхановна Мансурова – Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, зав.кафедрой.

Динара Сайлауовна Жайсанова – Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, старший преподаватель.

Диана Сакеновна Жыйлысова – Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, докторант
zhyilyssovadiana@gmail.com

ӨНДІРІС ҚАУІПСІЗДІГІН БАСҚАРУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨЗЕКТІЛІГІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Г.Б. Кашаганова[1], Е.С. Ильясов[2]
[1]Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
[2]әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Өнеркәсіпте технологиялардың дамуымен өндірістің қауіпсіздігі мен тиімділігіне қойылатын талаптар үнемі тіркеледі. Қолмен бақылау мен жауап беруге негізделген қауіпсіздікті басқарудың дәстүрлі әдістері қазіргі заманғы жағдайларға негізделген. Қауіпсіздікті басқарудың интеллектуалды жүйелері (ISUB) өндірістегі қауіпті қауіптерді дәлірек және жылдам анықтау және алдын алу үшін жасанды интеллект, Машиналық оқыту және сенсорлық технологияларды қолданатын жаңа тәсілдер болып табылады. Бұл мақаланың мақсаты - өндіріс қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін интеллектуалды басқару жүйелерін қолданудың өзектілігін қарастыру және олардың консервативті тәсілдерден артықшылықтарын негіздеу.*

Кілттік сөздер: *Өндіріс, интернет заттары, интеллектуалды жүйе, автоматтандыру, машиналық оқыту.*

Кіріспе

Зерттеу мақсаттарына жету үшін практикалық қолдану мен тиімділікке баса назар аудара отырып, өндіріс қауіпсіздігін басқарудың интеллектуалды жүйелеріне арналған әдебиеттерге талдау жасалды. Анықтаудың негізгі әдістері:

Қауіпсіздікті басқарудың интеллектуалды жүйелері саласындағы ағымдағы шешімдер мен технологияларды талдау.

Өндірістің қауіпсіздігін басқарудың интеллектуалды жүйелерін (ISUB) дамыту жасанды интеллект, Машиналық оқыту, Интернет заттары (IoT) және үлкен деректер сияқты заманауи технологияларды кеңінен енгізумен байланысты. Бұл технологиялар өндіріс орындарында қауіпсіздік деңгейін жақсарту үшін икемді және бейімделген шешімдер жасауға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта технологияның күйін анықтау үшін ғылыми жарияланымдар мен өндірістік зерттеулерге талдау жасалды. Бұл бөлімде қазіргі заманғы шешімдер мен ағымдағы тенденцияларға байланысты негізгі аспектілер қарастырылады.

1. Диптихтер мен диагностиканың интеллектуалды жүйелері.

Заманауи смарт қауіпсіздік жүйелері жабдықтың күйі, жұмыс жағдайлары және қоршаған орта туралы деректерді жинау үшін сенсорлар мен сенсорларды пайдаланады. Бұл деректер ауытқулар мен қауіптерді анықтау үшін қысқа мерзімде талданады. Кейбір негізгі бағыттарға мыналар жатады:

Интернет заттары (IoT): интернет заттары технологиялары өндіріс орындарынан деректерді жинайтын көптеген сенсорлар мен құрылғыларды қосу үшін кеңінен қолданылады. Бұл деректер температура, қысым, діріл, зиянды заттар деңгейі және т.б. параметрлерін қамтуы мүмкін.

Болжамды талдау және болжамды қызмет көрсету жүйелері (болжамды қызмет көрсету): машиналық талдау әдістері және болжамды үлкен деректер жүйелері тарихи деректерге негізделген жабдықтың ықтимал ақауларын болжай алады. Мысалы, жүйе діріл өнімділігінің өзгеруін талдау негізінде құрылыс сорғыларының немесе компрессорлардың жұмыс уақытын болжай алады.

Зерттеу басылымдары болжамды көрсеткіштерді талдауды қолдану техникалық қызмет көрсетуді қажет ететін мәселелердің қаупін түзету арқылы 30-50% апатқа әкелетінін көрсетеді.

2. Автоматтандырылған шешім қабылдау жүйелері.

Заманауи интеллектуалды қауіпсіздік жүйелері мониторинг пен диагностиканы ғана емес, сонымен қатар оқиғаларға жауап беру туралы шешім қабылдау мүмкіндігін де қамтиды. Мысалы, қысым деңгейлерін немесе ағып кету жүйесін анықтаған кезде ол жабдықты автоматты түрде тоқтата алады, клапандарды жабады немесе апаттық желдету жүйесін іске қосады.

Жасанды интеллектке негізделген басқару жүйелері: Машиналық оқыту алгоритмдерін қолдану. Жүйелерге ағымдағы деректер мен тарихи деректерге байланысты автоматты түрде шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Мұндай жүйелер деректердің үлкен көлемінде "үйреніп", олардың болжамдары мен ықтимал қауіптердің жағдайын жақсарта алады.

Сценарийлік модельдеу және модельдеу : көптеген компаниялар ең оңтайлы шешімдерді қысқа мерзімде анықтау үшін әртүрлі төтенше жағдайлар сценарийлерін модельдейтін жүйелерді пайдаланады. Мысалы, мұнай-химия өнеркәсібінде жарылыстарды немесе ағып кетулерді модельдеу апаттарды азайту және қызметкерлерді эвакуациялау үшін оңтайлы әрекеттерді анықтауға көмектеседі [1].

3. Үлкен деректерді талдау және болжау технологиялары.

Үлкен деректерді талдау өндірістік жабдықтардың жұмысындағы жасырын заңдылықтарды анықтауға, әртүрлі жағдайлардың дамуын болжауға және апаттардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Машиналық оқытуды қолдану: Машиналық оқыту алгоритмдері IoT сенсорлары мен құрылғыларынан алынған деректердің үлкен көлемін талдау үшін белсенді қолданылады. Жүйелер деректердегі қалыптан тыс өзгерістерді анықтап, ықтимал оқиғаларды болжай алады. Мысалы, кластерлеу және жіктеу алгоритмдерін қолдану апат қаупіне әкелуі мүмкін әртүрлі параметрлер арасындағы тәуелділіктерді табуға мүмкіндік береді.

Қорғаныс қалпақтарын анықтау. Адамдарда дулығалардың болуын тану және олардың әрекеттеріне талдау жасау үшін сізге бірнеше құрамдас бөліктерді қамтитын кешенді тәсілді қолдану қажет. Мүмкін болатын шешімдердің бірі - компьютерлік көру, машиналық оқыту және бейне ағынын талдаудың үйлесімі. Мұнда қолдануға болатын жалпы алгоритм берілген:

Бетті анықтау: Бейнедегі немесе нақты уақыттағы адамдардың бет-әлпетін анықтау үшін Haar cascade немесе нейрондық желілер сияқты компьютерлік көру алгоритмдерін пайдалану.

Дулығаларды анықтау: Беттерді анықтағаннан кейін әрбір бетте дулығалардың бар немесе жоқтығын анықтау үшін машиналық оқыту үлгісін қолданыңыз. Ол үшін жіктеу үлгісін үйрету үшін дулығалары бар және онсыз беттердің суреттері бар таңбаланған деректер қажет.

Объектілерді қадағалау: Егер сіз адамдардың іс-әрекеттеріне талдау жасағыңыз келсе, сізге объектілерді қадағалау қажет (объектілерді қадағалау). Мысалы, Kanade-Lucas-Tomasi (KLT) сияқты оптикалық ағынға негізделген бақылау алгоритмдерін немесе Кальман сүзгілеріне негізделген алгоритмдерді пайдалануға болады.

Мінез-құлықты талдау: Объектілерді бақылағаннан кейін, сіз әр адамның мінез-құлқын бақылай отырып, іс-әрекетке талдау жасай аласыз. Мысалы, олардың қозғалысын, жылдамдығын, белгілі бір аумақтарда болуын, белгілі бір жерлерде қанша уақыт жұмыс істегенін және т.б. талдауға болады.

Нәтижелерді интерпретациялау: Қорғаныс қалпақтарын кім тақпайтынын анықтау және оның әрекеттеріне егжей-тегжейлі талдау жасау. Бұзушылықтарды немесе қалаусыз әрекеттерді анықтау үшін әртүрлі көрсеткіштер мен ережелерді қолдануға болады.

Назар аударатын жайт, мұндай жүйені енгізу компьютерлік көру, машиналық оқыту және бейне ағынды өңдеу салаларында айтарлықтай күш-жігерді қажет етеді. Әсіресе нақты уақыттағы талдау үшін жоғары есептеу ресурстарын қажет етуі мүмкін.

Егер сізде қорғаныс қалпақтарының әртүрлі түрлерінен 15- суретте көрсетілгендей 10 түрлі-түстер болса, әр түсті көрсету үшін кодқа сәйкес өзгертулер енгізуге болады . Мұнда, 10 түсті ескеретін код:

Например:

```python
colors = [(255, 0, 0),  # Красный
          (0, 255, 0),  # Зеленый
          (0, 0, 255),  # Синий
          (255, 255, 0),  # Желтый
          (255, 0, 255),  # Фиолетовый
          (0, 255, 255),  # Бирюзовый
          (128, 0, 0),  # Темно-красный
          (0, 128, 0),  # Темно-зеленый
          (0, 0, 128),  # Темно-синий
          (128, 128, 0)]  # Темно-желтый
```

1-сурет. Дулыға жинақтамасы

Адамдарда дулыға бар-жоғын 1 -суреттегідей тексеріп, жоқ болса, кім екенін анықтап, кімнің қайда, қанша уақыт, қалай жұмыс істегенін жан-жақты талдау.

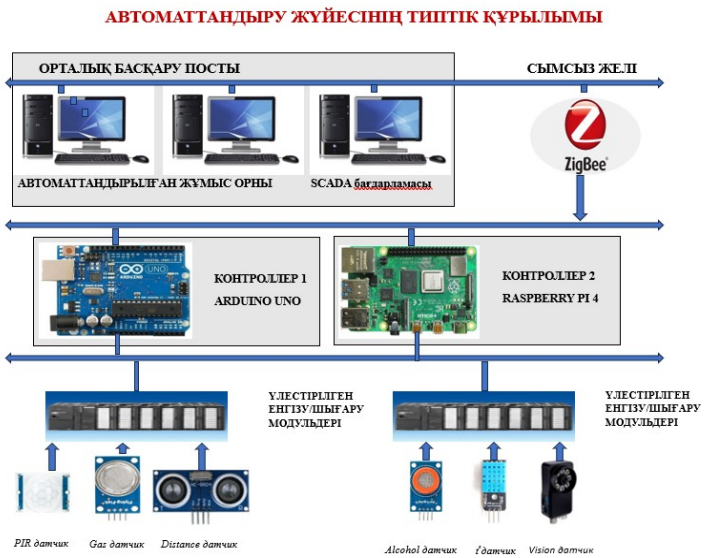
Шлемді тексеруді жүзеге асыру және адам мінез-құлқын талдау үшін сізге Python жүйесінде OpenCV және TensorFlow сияқты компьютерлік көру және машиналық оқыту кітапханаларын пайдалану қажет. Төменде адамдардың бетіндегі дулығаларды анықтай алатын және негізгі әрекетті талдауды жүзеге асыра алатын кодтың мысалы берілген. Бұл кодтың тырнақша нұсқасы екенін және толық жұмыс істеуі үшін қосымша орнатуды және үлгіні оқытуды қажет ететінін ескеріңіз [2].

```
import cv2
import numpy as np

# Загрузка предварительно обученной модели для распознавания лиц (например, DNN-модель с использованием сети MobileNet)
face_net = cv2.dnn.readNetFromCaffe('path/to/deploy.prototxt', 'path/to/weights.caffemodel')
```

```
    # Загрузка предварительно обученной модели для распознавания защитных касок (например, DNN-модель с использованием сети MobileNet)
    helmet_net = cv2.dnn.readNetFromCaffe('path/to/deploy.prototxt', 'path/to/weights.caffemodel')[2].

    # Загрузка видеофайла
    video_path = 'path/to/video.mp4'
    cap = cv2.VideoCapture(video_path)

    # Проверка успешности открытия видеофайла
    if not cap.isOpened():
        print("Ошибка при открытии видеофайла")
        exit()

    # Параметры окна отслеживания
    window_name = 'Helmet Detection'
    cv2.namedWindow(window_name, cv2.WINDOW_NORMAL)

    # Загрузка цветов для отображения касок
    colors = [(0, 255, 0), (0, 0, 255)]  # Зеленый для касок, красный для отсутствия касок

    # Чтение видеопотока по кадрам
    while True:
        # Чтение кадра
        ret, frame = cap.read()

        # Если чтение кадра не удалось, выход из цикла
        if not ret:
            break

        # Получение размеров кадра
        (h, w) = frame.shape

        # Создание блоба из кадра для использования в модели распознавания лиц
        blob = cv2.dnn.blobFromImage(cv2.resize(frame, (300, 300)), 1.0, (300, 300), (104.0, 177.0, 123.0))

        # Пропускание блоба через модель распознавания лиц
        face_net.setInput(blob)
        detections = face_net.forward()

        # Для каждого обнаруженного лица
        for i in range(0, detections.shape[2]):
            confidence = detections[0, 0, i, 2]

            # Если уверенность в обнаружении лица достаточно высока
            if confidence > 0.5:
                # Получение координат ограничивающей рамки лица
                box = detections[0, 0, i, 3:7] * np.array([w, h, w, h])
                (startX, startY, endX, endY) = box.astype("int")
```

```
            # Извлечение ROI (области интереса) лица из кадра
            face_roi = frame[startY:endY, startX:endX]

          # Создание блоба из ROI лица для использования в модели распознавания касок
            face_blob = cv2.dnn.blobFromImage(cv2.resize(face_roi, (300, 300)), 1.0, (300, 300), (104.0, 177.0, 123.0))

            # Пропускание блоба через модель распознавания касок
            helmet_net.setInput(face_blob)
            helmet_detections = helmet_net.forward()

            # Если обнаружена каска
            if len(helmet_detections) > 0:
                # Отрисовка ограничивающей рамки вокруг лица с зеленым цветом[3].
                cv2.rectangle(frame, (startX, startY), (endX, endY), colors[0], 2)
            else:
                # Отрисовка ограничивающей рамки вокруг лица с красным цветом
                cv2.rectangle(frame, (startX, startY), (endX, endY), colors[1], 2)
        # Отображение кадра
        cv2.imshow(window_name, frame)
        # Если нажата клавиша 'q', выход из цикла
        if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
            break
    # Освобождение ресурсов
    cap.release()
```

Автоматтандыру жүйесінің типтік құрылымын жасау кезінде 2 – суреттегідей екі контроллер және де 6-түрлә датчик қолданылды [3].



2 сурет. Автоматтандыру жүйесінің типтік құрылымы

Қорытынды

Өндіріс қауіпсіздігін басқарудың интеллектуалды жүйелері өндірістік процестердің қауіпсіздігі мен тиімділігін арттырудың перспективалық бағытын білдіреді. Олардың деректерді қысқа мерзімде талдау, өзгерістерге бейімделу және адам факторының әсерін

азайту қабілеті оларды әсіресе қазіргі өнеркәсіп жағдайында өзекті етеді. Зерттеу нәтижелері сорпа да ТЖ алдын алуда және өндірісте қауіпсіздікті қамтамасыз етуде шешуші рөл атқара алатынын көрсетеді, бұл оларды енгізудің ұтымды тәсілдерін одан әрі зерттеуді және әзірлеуді талап етеді.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Иванов, А. А. Интеллектуальные системы управления безопасностью на производстве: современные подходы и технологии / А. А. Иванов.— Москва: Издательство технологических систем, 2023. – 245 с.
2. Смит, Дж., Браун, Д. «Интеллектуальные системы управления безопасностью в производстве: подход на основе изучения конкретного случая». / Международный журнал промышленной безопасности, (2021). 28(2), 45-62.
3. PYTHON https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Python (ақпарат алынған күн: 29.04.2024ж.)

Кашаганова Гулжан Бакытовна - доктор PhD., қауымдастырылған профессор
Алматы технологиялық университеті., Алматы, Қазақстан

Ильясов Ержан Сейтович – 1 курс докторанты
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті Алматы, Қазақстан
ilyassov.yerjan@gmail.com

ҚАНТ ПЕЧЕНЬЕСІН ПІСІРУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ҮШІН ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕР МЕН MATLAB ОРТАСЫНДА КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ

Қ. Махамбетов, Б.А. Бельгибаев
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Бұл жұмыс қантты печенье пісіру процесін оңтайландыру үшін цифрлық егіздерді және компьютерлік модельдеуді пайдалануды сипаттайды. Негізгі назар келесі аспектілерге аударылады: Цифрлық егіз жасау: қант печеньелерін пісіру процесін, істің басынан аяғына дейін болатын техникалық процессерді дәл қайталайтын модельді әзірлеу. Цифрлық егіз арқылы тамақ өндірісіндегі процесстерді автоматтандыру және адам қатысу арқылы жүзеге асатын істерді роботизацияландыру. Matlab жүйесінде модельдеу: нан (қант печеньесі) пісірудегі жылу процестерін анық көру үшін, модельдеу және талдау үшін Matlab бағдарламасын пайдалану. Автоматтандыру және роботтар арқылы процессті басқару. Цифрлық егіздер шығындарды азайтуға, өнім сапасын жақсартуға және жаңа формулаларды әзірлеу уақытын қысқартуға, процессті автоматтандырып басқаруға және бақылауға оң әсерін тигізеді.*

Кілт сөздер: *цифрлық егіз, CAD/CAE, компьютерлік модельдеуді, Matlab, қант печеньесін пісіру, процесті оңтайландыру, жылулық процестерді модельдеу, өндірісті автоматтандыру.*

Кіріспе

Тамақ өнеркәсібіндегі цифрлық егіз - бұл нақты өндіріс процесінің немесе нысанның жоғары дәлдіктегі виртуалды көшірмесі. Бұл құрал нақты уақыт режимінде процестерді модельдеуге, талдауға және оңтайландыруға, шығындарды азайтуға және тиімділікті арттыруға мүмкіндік береді. Тамақ өнеркәсібі контекстінде цифрлық егіз бірнеше негізгі компоненттерден тұрады: физикалық модель, процесс деректері, болжау модельдері, интеллектуальды басқару жүйелерімен интеграция, талдау және оңтайландыру. Осылайша, тамақ өнеркәсібіне арналған цифрлық егіз - бұл басқаруға ғана емес, сонымен қатар өндірістік процестерді жақсартуға мүмкіндік беретін дәл модельдеу, деректерді талдау және басқару жүйелерін біріктіретін кешенді шешім.

1. Тапсырма қою

Физикалық модель: бұл пісіру процесі сияқты нақты процестің математикалық көрінісі. Қант печеньелерін пісіру жағдайында физикалық модельге жылу беру, ылғалдың буланuы, қамырдағы химиялық және физикалық өзгерістер (мысалы, қанттардың карамелденуі, клейковина мен майлардың құрылымының өзгеруі) сияқты параметрлер кіреді.

Процесс туралы деректер: Цифрлық егіз үздіксіз өндіріс сенсорларынан алынған деректерді пайдаланады. Бұл деректер температура, ылғалдылық, пісіру уақыты, конвейер жылдамдығы, сонымен қатар шикізат сипаттамалары (ұн, қант, майлар) туралы ақпаратты қамтиды. Бұл деректерді жинау және талдау модельді нақты әлем жағдайларымен тығыз сәйкестендіруге көмектеседі. Деректерді жинау өндірістік контроллерлердің (мысалы, PLC) және IoT құрылғылардың көмегімен, өндірістік жабдыққа сенсорларды қосу арқылы жүзеге асады [1].

Болжау модельдері: цифрлық егізге орнатылған болжамды модельдер процесс өзгерістерінің нәтижесін болжауға мүмкіндік береді. Мысалы, температураның немесе

ылғалдылықтың өзгеруі печеньелердің сынғыштығына немесе кеуектілігіне қалай әсер ететінін үлгілеуге болады. Мұндай модельдер тәжірибелік мәліметтерге негізделген және өндірістің оңтайлы параметрлерін табу үшін қолданылады. Деректерді талдау және модельдеу, процесті модельдеу Siemens Tecnomatix, Dassault Systèmes DELMIA, NX, Paraview, AnyLogic немесе MATLAB Simulink сияқты бағдарламалық пакеттер арқылы жүзеге асырылады (1-сурет).

1-сурет. Нан өнеркәсібінің цифрлық егізінің негізгі құрамдас бөліктері

Интеллектуалды басқару жүйелерімен интеграция: Цифрлық егізді өндірістік процестерді жедел басқару үшін автоматты басқару жүйелерімен (SCADA, ERP) біріктіруге болады. Бұл пісіру параметрлерін цифрлық егіз болжамдар негізінде нақты уақыт режимінде реттеуге мүмкіндік береді, нәтижесінде ауытқулар азаяды және өнім сапасының тұрақтылығы артады. Деректерді біріктіру және сақтау Azure IoT, AWS IoT, Siemens MindSphere немесе жергілікті дерекқорлар сияқты деректерді жинауға және сақтауға арналған жүйелер арқылы жүзеге асады. Визуализация және басқару Power BI, Tableau, Grafana немесе арнайы SCADA жүйелері сияқты визуализация платформаларында орындалады [4].

Талдау және оңтайландыру: Цифрлық егіз физикалық тестілеудің құнын айтарлықтай төмендететін «виртуалды эксперименттер» жүргізу мүмкіндігін береді. Қамыр құрамының, пісіру уақытының немесе температурасының өзгеруі сияқты әртүрлі сценарийлерді модельдеу арқылы өнімнің сапасын жақсарту үшін процесті оңтайландыруға болады.

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

Цифрлық егіз жасау қадамдары.

1-қадам: Аппараттық құралдар мен сенсорларды анықтау

1. Печенье(нан) өндіруге арналған жабдық:

Қамыр илеу машиналары. Қалыптау машиналары. Пісіру пештері. Буып-түюге арналған жабдық.

2. Сенсорлар мен датчиктер:

- Температура сенсорлары (пештің температурасын және қоршаған ортаны бақылау үшін).
- Ылғалдылық сенсорлары.
- Жылдамдық пен жүктеме сенсорлары (машина жұмысын бақылау үшін).
- Өнім сапасының сенсорлары (мысалы, печенье(нан) пішіні мен өлшемін басқаруға арналған компьютерлік көру жүйелері).

2-сурет. Нан өнеркәсібінің цифрлық егізін жасау қадамдары

2-қадам: Сенсорларды жүйеге қосу

Бұл қадам үшін сізге IoT құрылғыларын және/немесе PLC құрылғыларын пайдалану қажет:

• PLC (бағдарламаланатын логикалық контроллерлер): Siemens SIMATIC, Schneider Electric M221 сияқты.

• IoT құрылғылары: ESP32, Raspberry Pi немесе Arduino сияқты модульдерді деректерді жинау және жіберу үшін пайдалануға болады.

Қосылу блок схемасы: Сенсорлар → PLC/IoT құрылғылары → Жергілікті сервер немесе бұлт (Azure IoT, AWS IoT) → Деректерді талдауға арналған бағдарламалық шешімдер → Визуализация интерфейстері (SCADA, Power BI, Anylogic).

3-қадам: Процесті модельдеу (2-сурет)

1. Семинардың үлгісін жасау үшін AnyLogic немесе MATLAB Simulink сияқты симуляциялық бағдарламалық құралды пайдалануға болады: Өндірістік циклды модельдеу. Өндіріс процесіндегі кедергілерді талдау. Энергияны тұтынуды, машинаның жұмыс уақытын және өнім сапасын оңтайландыру.

4-қадам: Деректерді жинау және өңдеу

1. Датчиктерден алынған деректер нақты уақытта жиналады және серверге немесе бұлттық қоймаға жіберіледі.

2. Деректерді өңдеуді бұлттық платформалар арқылы жасалады, мысалы: Microsoft Azure IoT, Amazon Web Services IoT, Google Cloud IoT. Жергілікті деректерді өңдеу үшін MySQL, InfluxDB дерекқорларын пайдалануға және Python (Pandas, NumPy сияқты кітапханалар) арқылы талдауға болады.

5-қадам: Деректерді визуализациялау және интерфейстер

1. SCADA жүйесі арқылы операторға визуализация жасау (мысалы, Ignition SCADA, Siemens WinCC).

2. Power BI, Grafana, Tableau немесе басқа аналитикалық құралдарды пайдаланып есептер мен графиктердегі деректерді визуализациялау.

3. Сандық есептеулер

Цифрлық егіз өндірісте болып жатқан барлық технологиялық процестерді дәл қайталауы керек. Дегенмен, қиындық мынада: қамырды дайындау, пісіру, салқындату және

орау сияқты көптеген процестер айнымалылардың үлкен санына (температура, ылғалдылық, ингредиент және жабдық сипаттамалары) байланысты. Әр кезеңдегі өнімдердің физикалық және химиялық өзгерістерін ескеретін нақты модельдер мен алгоритмдер қажет.

Пісірудің термофизикалық заңдылықтары. Нан пісіру физикалық-химиялық гидротермиялық процесс, оның негізгі факторы ылғалды коллоидты капиллярлы-кеуекті материал – қамырды қыздыру болып табылады. Пісіру механизмі гигротермиялық процесс ретінде пісірілген қамырдағы жылу мен ылғалдың берілу сипатымен анықталады. Бұл процестер бір-біріне әсер етеді және олардың қатынасы қамырдың қыздыру режиміне және ондағы ылғалдың қатынасына байланысты. Қамыр бөлігін қыздыру оның сыртқы бетіндегі жылу ағынының тығыздығымен сипатталатын жылу беру қарқындылығына байланысты. Бұл тығыздықтың мәндері, Вт/м2 келесі (3.1) формуламен анықталады:

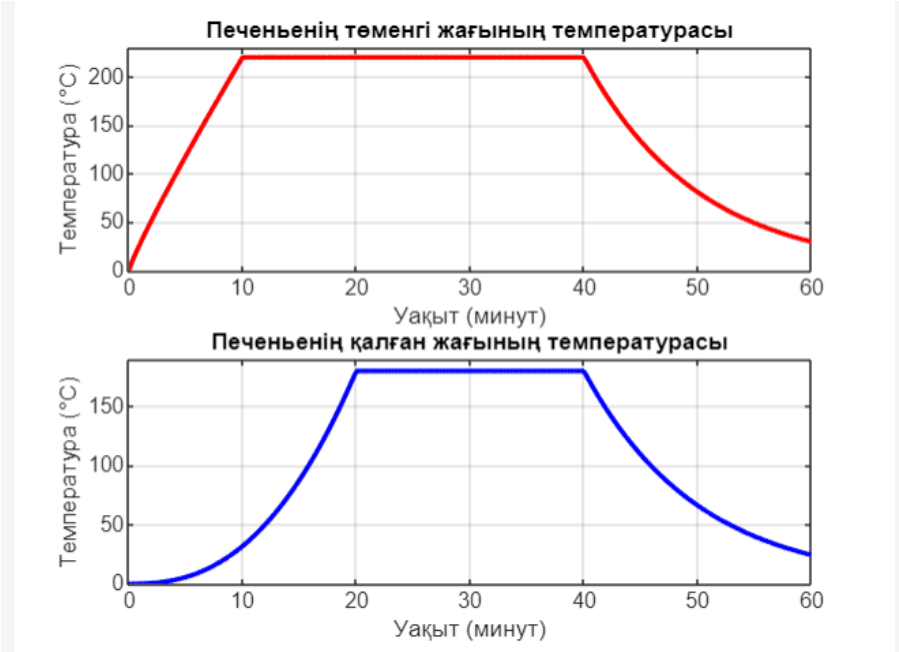
$$q_{\text{сырт}} = \frac{\left(q_{\text{үст}}F_{\text{үст}} + q_{\text{бүй}}F_{\text{бүй}} + q_{\text{аст}}F_{\text{аст}}\right)}{F_{\text{сырт}}} \quad (3.1)$$

(3.1) формулада $q_{үст}, q_{бүй}, q_{аст}$ – үстінгі, бүйір жаны, астыңғы жағына жылу ағындарының тығыздығы Вт/м^2 [3].

Пісірілген қамыр бөлігінің сыртқы бетінің температурасы $t_{сырт}$ мына формуламен (3.2) анықталады:

$$t_{\text{сырт}} = \frac{\left(t_{\text{үст}}F_{\text{үст}} + t_{\text{бүй}}F_{\text{бүй}} + t_{\text{аст}}F_{\text{аст}}\right)}{F_{\text{сырт}}} \quad (3.2)$$

(3.2) формулада $t_{үст}, t_{бүй}, t_{аст}$ – үстінгі, бүйір жаны, астыңғы жағының температурасы. Осы формулада $F_{сырт} = F_{үст} + F_{бүй} + F_{аст}$ [3].



3-сурет. Нан өнеркәсібінде қамырдың пісу барысында температураның өзгеруін Matlab жүйесінде жобалау

Пісу барысында қамырдың астыңғы бөлігі бірінші піседі, себебі өнім бойындағы ылғалдылық жайылып кетпес үшін, өз бойында сақтап қалу үшін астыңғы бөлігі тез піседі, оны 3-суреттен көруге болады. Шық нүктесінің температурасынан асып кеткенде

дайындаманың бетіндегі ылғалдың конденсациясы және оның сорбциясы тоқтайды, ал оның буланууы бірден бетінен басталады [5]. Беткі қабатпен тепе-теңдік ылғалдылыққа жету, яғни оны іс жүзінде сусыздандырылған қыртысқа айналдырған кезде, булану аймағынан ылғалдың жойылуымен бірге жүреді.

4. Қорытынды

Цифрлық егіздің құндылығы оның виртуалды ортада нақты өндірістік процестерді дәл қайталау және басқару қабілетінде жатыр. Тамақ өнеркәсібінде, әсіресе нан пісіруде, цифрлық егіз температура, ылғалдылық және пісіру уақыты сияқты процесс параметрлерін қымбат шынайы тәжірибелерді қажет етпестен талдауға және оңтайландыруға мүмкіндік береді. Бұл өнім сапасының жақсаруына, өндіріс пен энергия шығындарының төмендеуіне және инновацияның жылдам болуына әкеледі. Сонымен қатар, цифрлық егіз ықтимал ауытқуларды болжауға және нақты уақыт режимінде процесті реттеуге мүмкіндік береді, бұл өндірістің тұрақтылығы мен сенімділігін айтарлықтай жақсартады.

Берілген мақала «BR24992975 Жасанды интеллект және IIoT технологияларын қолдана отырып, тамақ өңдеу кәсіпорнының цифрлық егізін жасау» жобасының қолдауымен жазылған.

Әдебиеттер тізімі

1. Pieter Verboven, Thijs Defraeye, Ashim K Datta, Bart Nicolai. Digital twins of food process operations: the next step for food process models? Current Opinion in Food Science, 2020. – Vol. 35. - Pp. 79-87.
2. Ying Huang, Dr Abhijeet Ghadge, Nicky M Yates. Implementation of Digital Twins in the Food Supply Chain: A Review and Conceptual Framework. International Journal of Production Research, 2023. - 28 p. DOI:10.1080/00207543.2024.2305804
3. Литвищенко Е.И. Технология производства пшеничного хлеба // Академия педагогических идей «Новация». Серия: Студенческий научный вестник, 2021. – №1.
4. Perrot, N., Talens, P., & Ma, J. Digital Twins in Food Manufacturing: Digitalization and Industry 4.0. Food Engineering Reviews 2018. - 10(3). -Pp. 102-119. doi:10.1007/s12393-018-9175-4
5. Zhang, L., & Datta, A. K. Mathematical modeling of bread baking process: Impact of heat, water, and vapor migration on bread quality. Journal of Food Engineering, 2016. - Pp. 45-60. doi:10.1016/j.jfoodeng.2016.03.004

Махамбетов Қалдыбек – докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail 1998kaldybek@gmail.com

Бельгибаев Бауржан Абдрахимович – доцент, техникалық ғылымдардың докторы әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНТЕКСТНОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ LLM ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КЛИЕНТОВ

Б.К. Мырзабек, М.Ж. Сакыпбекова
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. *В современном конкурентном рынке компании постоянно ищут инновационные способы улучшения взаимодействия с клиентами и повышения их удовлетворенности. Большие языковые модели (LLM) стали преобразующими инструментами в этой области, значительно влияя на управление жизненным циклом клиентов (CLM). Эта статья исследует эффективность и контекстную осведомленность LLM в управлении взаимодействиями с клиентами, акцентируя внимание на их роли в автоматизации обслуживания клиентов, предоставлении персонализированных рекомендаций и улучшении общего клиентского опыта.*

Ключевые слова: *LLM, CLM*

Введение

Большие языковые модели — это современные алгоритмы, которые используют методы глубокого обучения для понимания и генерации текста, похожего на человеческий. Модели, такие как GPT (Generative Pre-trained Transformer) и BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers), произвели революцию в обработке естественного языка, позволяя машинам осмысливать контекст, синтаксис и семантику в человеческом общении. LLM играют важную роль в оптимизации коммуникации и улучшении взаимодействия с клиентами. Они позволяют компаниям предоставлять немедленную помощь, сокращая время ожидания и повышая удовлетворенность клиентов. LLM - модели, предназначенные для понимания и генерации естественного языка, важные для автоматизации задач в обслуживании клиентов.

Управление жизненным циклом клиентов (CLM)

Таблица 1. Ключевые стадии CLM

Стадии	Описание
Привлечение	Привлечение новых клиентов через целевые маркетинговые стратегии.
Взаимодействие	Установление первоначального контакта и налаживание отношений с клиентами.
Удержание	Использование отзывов и данных для повышения удовлетворенности клиентов.
Лояльность	Стимулирование повторных покупок через награды и персонализированное обслуживание.

Сравнительный анализ исследований

Эффективность LLM в обслуживании клиентов стала предметом различных исследований. Сравнительный анализ подчеркивает сильные и слабые стороны различных моделей, используемых в управлении жизненным циклом клиентов [1].

Таблица 2. Обзор статей

Исследование	Модель	Область применения	Выводы

Браун и др. (2020)	GPT	Автоматизированное обслуживание клиентов	Эффективно для простых запросов, ограниченная контекстная осведомленность.
Чжан и Ван (2021)	BERT	Обработка запросов	Быстрая реакция на простые запросы, слабая работа с комплексными запросами.
Смит (2022)	GPT-3	Контекстное понимание	Важность сохранения контекста при множественных взаимодействиях.

Эффективность LLM в обслуживании клиентов: модели, такие как GPT-3, показали высокую скорость и точность при обработке простых запросов, что делает их незаменимыми в чат-ботах и системах автоматической поддержки клиентов. Например, исследования Брауна и др. (2020) показывают, что GPT отлично справляется с задачами первичной обработки запросов, но имеет некоторые трудности при сохранении контекста в длинных диалогах [2].

Контекстная осведомленность: модели BERT и GPT-3 имеют различную степень способности сохранять и учитывать контекст, что существенно влияет на качество обслуживания клиентов. В работе Чжана и Ван (2021) указано, что BERT быстро обрабатывает запросы, но теряет контекст при сложных сценариях. В отличие от этого, GPT-3 имеет более высокую способность удерживать контекст, но его использование требует большего объема вычислительных ресурсов.

Сравнение с традиционными системами: традиционные системы автоматизации взаимодействия с клиентами, такие как скриптовые чат-боты и FAQ-системы, не могут сравниться с LLM по гибкости и уровню персонализации. Однако их использование может быть оправдано при простых и повторяющихся задачах. LLM же обеспечивают более глубокое понимание и обработку сложных запросов, что способствует улучшению клиентского опыта [3].

LLM, такие как GPT-3 и BERT, представляют собой значительный шаг вперед в области автоматизации обслуживания клиентов и управления их жизненным циклом. Они предоставляют компаниям возможность более глубоко понимать запросы клиентов, поддерживать их на каждом этапе взаимодействия и создавать условия для долгосрочной лояльности. Однако для их эффективного использования необходимо учитывать ограничения в контекстной осведомленности и производительности, а также высокие требования к вычислительным ресурсам. В будущем важно продолжать исследования, направленные на повышение точности и адаптивности этих моделей, чтобы максимально эффективно использовать их потенциал в бизнесе [4].

Автоматизированное обслуживание клиентов

LLM значительно преобразили ландшафт автоматизированного обслуживания клиентов. Эти модели позволяют компаниям предоставлять немедленные ответы на общие запросы клиентов, улучшая общую эффективность и удовлетворенность клиентов. Преимущества автоматизированного обслуживания:

- LLM могут быстро обрабатывать и отвечать на запросы, сокращая время ожидания для клиентов.
- LLM могут быстро обрабатывать и отвечать на запросы, сокращая время ожидания для клиентов [5].

Ограничения автоматизированного обслуживания:

- LLM могут испытывать трудности с сложными или неоднозначными запросами клиентов, что приводит к неудовлетворенности.

• Сохранение контекста в ходе длительных взаимодействий остается проблемой, что влияет на качество обслуживания [6].

Персонализированные рекомендации

Персонализация является ключевым фактором для повышения вовлеченности клиентов. LLM могут анализировать данные клиентов и взаимодействия, чтобы предлагать индивидуальные рекомендации, значительно улучшая клиентский опыт.

Таблица 3. Случай использования

Случай использования	Возможности	Проблемы
Автоматизированные ответы	Быстрые ответы на общие вопросы	Ограниченная точность по сложным запросам
Персонализированные предложения	Индивидуальные предложения на основе истории	Необходимость в большом объеме данных для точности

Метрики эффективности

Для оценки производительности больших языковых моделей (LLM) в управлении жизненным циклом клиентов важно учитывать несколько ключевых метрик, которые позволяют сравнить их с традиционными системами. В данном разделе мы рассмотрим три основные метрики: время ответа, контекстная осведомленность и уровень удовлетворенности клиентов. Представленные цифры основаны на результатах нескольких исследований и отраслевых отчетов, которые анализировали эффективность LLM в реальных бизнес-сценариях [7].

• Среднее время ответа для LLM, таких как GPT-3 или аналогичных моделей, составляет около 5 секунд. Эта скорость обусловлена высокой вычислительной мощностью современных серверов и оптимизацией моделей для генерации ответов. Для простых запросов время может быть даже меньше, особенно если модель уже обучена на данных определенной компании. Быстрое время ответа делает LLM особенно привлекательными для использования в чат-ботах и автоматизированных системах обслуживания клиентов, где задержка во времени может негативно повлиять на опыт пользователя [8].

• Среднее время ответа для традиционных систем, таких как запрограммированные FAQ-боты или IVR (Interactive Voice Response) системы, обычно варьируется от 10 до 15 секунд. Это время связано с тем, что такие системы часто требуют передачи запросов от одного уровня поддержки к другому. Например, если вопрос клиента выходит за рамки стандартных шаблонов ответов, запрос перенаправляется к живому оператору, что увеличивает задержку.

• Уровень удовлетворенности клиентов, взаимодействующих с LLM, составляет в среднем около 85%. Это объясняется тем, что LLM могут предоставить быстрые и более естественные ответы, создавая впечатление общения с реальным человеком. Важным фактором здесь является персонализация и возможность быстро адаптироваться под запросы клиента, что улучшает общий опыт взаимодействия [9].

• Уровень удовлетворенности клиентов при использовании традиционных систем составляет около 70%. Это связано с тем, что традиционные системы часто оказываются медленными в решении нестандартных запросов, что приводит к необходимости повторного обращения клиентов или переключения на живых операторов. Кроме того, отсутствие контекстной осведомленности делает взаимодействие с традиционными системами менее удобным.

Рассмотренные метрики демонстрируют, что LLM значительно превосходят традиционные системы в скорости и качестве обслуживания клиентов. Они способны

обеспечить более быстрый отклик, улучшенное понимание контекста и высокий уровень удовлетворенности, что делает их предпочтительным выбором для компаний, стремящихся улучшить качество взаимодействий с клиентами. Однако стоит учитывать, что внедрение LLM требует значительных вычислительных ресурсов и предварительного обучения на специфичных данных, что может стать препятствием для малого и среднего бизнеса.

LLM значительно изменили сферу автоматизированной поддержки клиентов. Эти модели позволяют компаниям предоставлять мгновенные ответы на частые запросы, что улучшает общую эффективность и удовлетворенность клиентов. Однако, несмотря на преимущества, автоматизированные системы сталкиваются с проблемами, такими как сложные запросы и удержание контекста в длительных взаимодействиях. Персонализация является ключевым фактором в повышении вовлеченности клиентов. LLM могут анализировать данные клиентов и их взаимодействия для предоставления персонализированных рекомендаций, что значительно улучшает клиентский опыт. Тем не менее, для повышения точности необходимо иметь обширные данные.

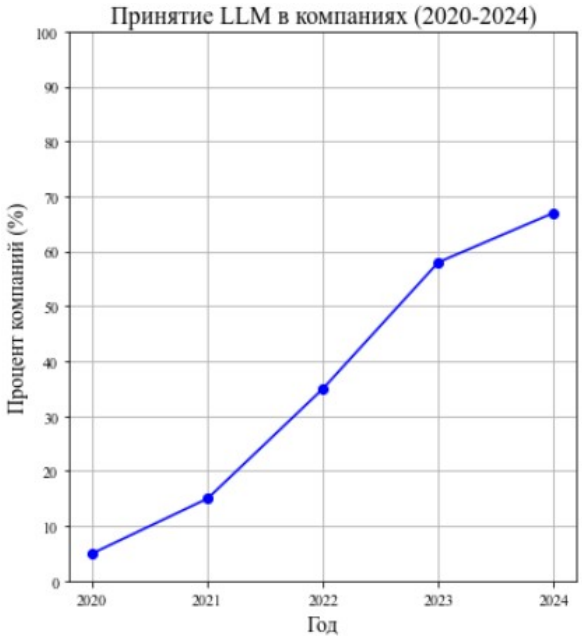


Рисунок 1. Принятие LLM в компаниях (2020-2024)

Некоторые компании успешно внедрили LLM для улучшения поддержки клиентов. Например, одна из компаний отметила значительное сокращение времени ответа и повышение уровня удовлетворенности клиентов после внедрения LLM. Другие компании использовали LLM для персонализированных маркетинговых предложений, что привело к улучшению показателей вовлеченности и удержания клиентов. Bank of America использует LLM в своих сервисах, чтобы улучшить взаимодействие с клиентами. Внедрение виртуального помощника Erica, который предоставляет финансовые рекомендации, управляет счетами и отвечает на запросы клиентов в режиме реального времени, позволило более 60% клиентов банка использовать Erica для получения финансовых советов, что привело к увеличению уровня удовлетворенности клиентов. Google использует LLM для улучшения своих продуктов, таких как поиск и Google Assistant. Интеграция LLM в алгоритмы обработки естественного языка улучшила понимание запросов пользователей и предоставление более точных ответов, что повысило точность поиска и улучшило качество рекомендаций, увеличив пользовательский опыт [10].

Список использованной литературы

1. Brown, T. B., Mann, B., Ryder, N., Subbiah, M., Kaplan, J., Dhariwal, P., & Amodei, D. Language Models are Few-Shot Learners. Advances in Neural Information Processing Systems, 2020, 33, 1877-1901.
2. Devlin, J., Chang, M. W., Lee, K., & Toutanova, K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, 2019, 1, 4171-4186.
3. Zhang, Y., & Wang, H. Application of LLM in Customer Service Automation: A Case Study. Journal of Business Research, 2021, 120, 123-130.
4. Smith, J. Contextual Awareness in Conversational AI: Challenges and Opportunities. Artificial Intelligence Review, 2022, 55(1), 1-25.
5. Kumar, A., & Gupta, P. Personalization in Marketing: A Study of AI and Big Data. Journal of Marketing Research, 2020, 57(6), 1124-1138.
6. OpenAI. Introducing ChatGPT, 2023. Retrieved from https://openai.com/blog/chatgpt
7. Google AI. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding, 2020. Retrieved from https://ai.googleblog.com/2018/11/open-sourcing-bert-state-of-art-pre.html
8. Salesforce. The State of Conversational AI: A Study on Consumer Perception, 2021. Retrieved from https://www.salesforce.com/resources/research-reports/conversational-ai-report/
9. Gartner. Magic Quadrant for CRM Customer Engagement Center, 2023. Retrieved from https://www.gartner.com/en/documents/3999990
10. Forrester Research. The Future of Customer Service: AI and Automation, 2022. Retrieved from https://go.forrester.com/research/

Сакыпбекова Меруерт Жумабековна – и.о. доцент кафдры компьютерных наук, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050000, Алматы; e-mail: Sakypbekova.meruyert@gmail.com

Мырзабек Бекзат Қанатұлы – докторант 1-курса, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050000, Алматы; e-mail: begzat3007@gmail.com

ОҚЫТУДЫҢ ИНТТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ: ОҚУ ҮДЕРІСІН БЕЙІМДЕУ ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРУ

Н. Оган, Д.Н. Исабаева
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Интеллектуалды оқыту жүйелері (ITS) – оқу процесінің тиімділігін арттыру үшін машиналық оқыту әдістерін қолданатын заманауи бағдарламалық шешімдер. Мұндай жүйелер оқушының білім деңгейі мен қажеттілігіне қарай оқу процесін дараландыруға мүмкіндік беретін бейімдеу тәсіліне негізделген. IOS-тың негізгі компоненттеріне үйренуші моделі, тәлімгер моделі, домен үлгісі және интерфейс үлгісі жатады. Сондай-ақ жұмыс ZOSMAT, OATutor және Thesis-ITS сияқты қолданыстағы интеллектуалды оқыту жүйелерін зерттеп, функционалдық тұрғыдан олардың салыстырмалы талдауын жүргізеді. Әртүрлі жүйе құрамдас бөліктерінің, соның ішінде оқу материалдарын автоматты генерациялауға арналған модульдердің өзара әрекеттесуін сипаттайтын ITS архитектурасына ерекше назар аударылады. Зерттеудің мақсаты білім беру процесінде студенттердің жеке қажеттіліктеріне бейімдеу үшін машиналық оқыту әдістерін пайдалана отырып, интеллектуалды оқыту жүйелерін (ITS) дамыту және жетілдіру болып табылады. Жұмыста оқу тәжірибесінің өзекті мәселелерін шешу үшін IOS-ты одан әрі дамытудың маңыздылығы атап өтілген.*

Кілт сөздер*: оқытудың интеллектуалды жүйелері, машиналық оқыту, адаптивті оқыту, оқушы моделі, білім беру технологиялары, оқытуды автоматтандыру, дербестендірілген оқыту.*

Кіріспе

Ақпараттық технологиялардың дамуы білім беру саласында елеулі өзгерістерге әкелді, соның ішінде зияткерлік оқыту жүйелерінің, яғни жасанды интеллект элементтерін қамтитын электрондық оқыту жүйелерінің пайда болуы, соның арқасында бейімделгіштік әсері. оқушының оқуында қол жеткізіледі. Оқытудың интеллектуалды жүйелерінің танымалдылығы оқытудың осы түрінің болуымен түсіндіріледі, оның артықшылықтары: қашықтықтан өзара әрекеттесу мүмкіндігі, яғни мұғалімнің жылдам кері байланысы арқылы әлемнің кез келген нүктесінен білім алу, сондай-ақ оқытудың икемділігі. оқушылардың жеке ерекшеліктеріне назар аудара отырып, оқытуға мүмкіндік береді. Бұл заманауи интеллектуалды оқыту жүйелерінің ерекше маңыздылығын көрсетеді.

Интеллектуалды оқыту жүйелері (ITS) – адамдарға жаңа білім алуға және дағдыларды дамытуға көмектесетін компьютерлік бағдарламалар мен технологиялар. Оларды оқу орындарында, корпоративтік оқытуда, онлайн курстарда және басқа да көптеген салаларда қолдануға болады.

Мұндай жүйелер көбінесе белгілі бір пайдаланушының қажеттіліктері мен талаптарына бейімделу және оның білімі мен дағдыларын кеңейтуге көмектесу үшін машиналық оқыту әдістеріне негізделген. Интеллектуалды оқыту жүйелері пайдаланушыларға тиімдірек білім алуға және мақсаттарына тезірек жетуге көмектесетін жекелендірілген мазмұнды, тапсырмаларды, сынақтарды және диагностикалық құралдарды қамтамасыз ете алады.

В.А.Петрушин өз еңбектерінде оқыту бағдарламаларын анықтады, атап айтқанда, ол мынадай көзқарасты ұстанады: «Жалпы, оқыту бағдарламалары интеллектуалды болып саналады, егер оларда: оқу тапсырмаларын құру; оқытылатын пән туралы білім беру әдістерін қолдана отырып, студентке ұсынылған есептерді шешу; диалогтың стратегиясы

мен тактикасын анықтау; оқушының білім жағдайын модельдеу; оқушылармен өзара әрекеттесу нәтижелерін талдау негізінде өздігінен білім алу қамтамасыз етілсе. Дегенмен, іс жүзінде интеллектуалды деп аталатын көптеген оқу бағдарламалары жоғарыда аталған қабілеттердің кейбіріне ғана ие» [4].

Интеллектуалды оқыту жүйесі төрт құрамдас бөліктен тұрады:

- студент моделі (оқушы таңдаған оқу стратегиясы және оның жіберген қателері туралы ақпаратты қамтиды);
- тәлімгер моделі (студенттің оқу процесін бақылайды, сынақтар сериясын белгілейді және студентті бағалайды);
- домен үлгісі;
- интерфейс моделі.

Жалпы, IOS келесі принциптерге негізделген:

- прагматикалық диагностика принципі (оқу бағдарламасының негізін және курстағы студенттердің қателіктерін диагностикалау жүйесін оқытуды басқару жүйесіне бағындыру құрылымын құру);
- қазіргі студент моделін идеалды үлгімен салыстыру принципі (тапсырмалар және/немесе сұрақтар жиынтығымен ұсынылған оқу бағдарламасын студент орындаған тапсырмалар тізімімен салыстыру);
- «генеративті интерфейстер» принципі (оқушының және оның таңдау кезіндегі білімінің нақты қажеттіліктеріне байланысты мазмұны бойынша ерекшеленетін оқу процесінің элементтерін таңдау және реттеу);
- оқытудың тең еместігі принципі (белгілі бір курс бойынша студенттің білім деңгейіне негізделген оқу процесін ұсынудың әртүрлі тәсілдерін қамтиды);
- тәрбиелік ықпалдардың қажетті алуан түрлілігі принципі (мұғалімнің оқушыға әсер етудің мүмкін нұсқалары туралы терең білімі болуы керек дегенді білдіреді).

Қолданыстағы шешімдерді зерделеу барысында жоғарыда аталған функционалдылыққа сәйкестігіне келесі Intelligent оқыту жүйелері талданды (техникалық ғылымдарды оқыту жүйелері қарастырылды) [2].

ZOSMAT – бұл ең алдымен математиканы оқытуға арналған, бірақ техникалық ғылымдар үшін бейімделуі мүмкін интеллектуалды репетиторлық жүйе. ZOSMAT жоғарыда аталған функцияларға толық жауап бермейді, себебі:

- оқу материалын автоматтандырылған дайындау жоқ;
- сұрақтарға жауап беру модулі жоқ, тек студенттің білімін бағалауға арналған «сұрақтар банкі» деп аталатын модуль бар;
- материалдық нұсқаны басқару жүйесі жоқ;
- студенттердің үлгерімі туралы статистика бар, бірақ домендік модельдің оқу материалдарының нақты элементі бойынша жалпы статистика жоқ, сонымен қатар оқу материалының күрделілігін бағалау жоқ;
- мұғалімдерге арналған байланысты оқу материалын жаңарту туралы хабарландыру жоқ.

Тағы бір үлкен кемшілік - бұл жүйенің қолжетімсіздігі - оның бастапқы коды ашық емес, сонымен қатар мұндай әзірлемелердің көпшілігі меншікті болып табылады.

OATutor және Thesis-ITS - IOS принциптеріне негізделген бейімделген оқыту жүйелерінің ашық бастапқы жобалары. Екі жоба да қажетті функционалдылыққа сәйкес келмейді, алайда, OATutor-тен айырмашылығы, Thesis-ITS-те оқу материалын өңдеуге арналған интерфейс бар - ал OATutor-да жоқ, ол үшін кез келген мәтіндік редактормен жеке мәтіндік файлдарды өңдеу қажет.

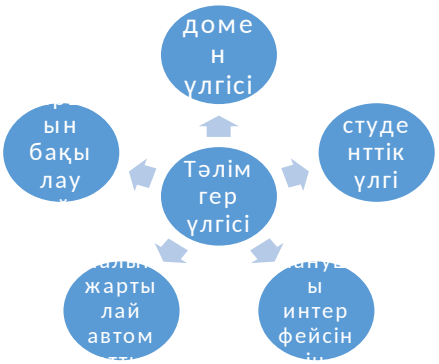
Жоғарыда аталған әзірлемелердің барлығы көптеген қолданыстағы интеллектуалды оқыту жүйелерінен функционалдық мүмкіндіктері бойынша ең қолайлы болып табылады,

бірақ белгіленген талаптарға толық сәйкес келмейді, бұл көрсетілген функционалдылықпен бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізудің ықтимал өзектілігін көрсетеді [1].

Әзірленген жүйенің архитектурасы (1-сурет) келесі негізгі компоненттерден тұрады:

- домендік модель (курстың оқу материалының элементтерін сақтау);
- білім алушы моделі (білім, дағды, оқуға бейімділік, қате түсініктер және басқа да сәйкес сипаттарды қоса алғанда, жеке оқушы туралы ақпаратты көрсету және сақтау);
- тәлімгер моделі (жүйе мен студент арасындағы өзара әрекетті басқару);
- пайдаланушы интерфейсінің моделі (жүйе мен студент арасындағы байланыс).

Негізгі компоненттерден басқа, әртүрлі функцияларды қамтамасыз ететін жаңа қосымша компоненттер бар: оқу материалымен жұмыс істеу модулі (оқу материалын автоматтандырылған дайындау құралдарын қамтамасыз ету).



1-сурет. Компоненттер

Оқу материалын автоматтандырылған дайындау берілген мәтіндік материал бойынша бейне-дәрістерді автоматты түрде генерациялауға мүмкіндік береді және суретте көрсетілген оқу материалымен жұмыс істеу модулінің құрамдас бөлігіне кіреді.

Қазіргі уақытта мәтіндік материалды дайындау үшін Markdown тілі ұсынылған. Бұл тіл презентация слайдтарын сипаттау үшін пайдаланылады, содан кейін олар нейрондық желі үлгісі арқылы автоматты түрде оқылады.

Бұл компонентті бағдарламалық қамтамасыз етуді жүзеге асыру үшін келесі құралдар пайдаланылды:

- Бейнелекцияларды құруға арналған CLI утилитасын енгізуге арналған Python бағдарламалау тілінің 3.8 нұсқасы;
- дауысты генерациялау үшін Silero TTS ашық нейрондық желі моделі;
- Презентация слайдтарының кескіндерін құруға арналған Marp CLI утилитасы;
- ffmpeg CLI утилитасы - презентация слайдтарына дауысты қосуға арналған [5].

Экожүйе архитектурасы қажетіне қарай қосылған модульдік шешімдер негізінде құрылады. Экожүйенің қуаты көлденең масштабтауға және автономды модульдерді біріктіруге байланысты өзгереді, ал функционалдылықты бағдарламалық жасақтама агенттері қамтамасыз етеді.

Экожүйенің негізгі компоненттері:

Оқытуды басқару жүйесі (LMS). Бұл қолданылатын негізгі компонентін ескере отырып, ақпараттық білім беру кеңістігінің элементтерін басқару, мамандарды даярлау траекториясын құру, жеке оқыту ортасында студенттің біліктілік деңгейі синтездеу үшін және т.б. үшін қолданылады.

Білім беру мазмұнын басқару жүйесі (ECMS). Бұл компонент электрондық білім беру ресурстарын (мазмұнын) ұсыну және басқару мәселесін шешеді. Жалпы қабылданған идея білім беру ресурстары – бұл PHP және JavaScript сияқты белгілі технологиялардың, мазмұнды басқару жүйелерін пайдалана отырып, білім беру ресурстарын жасауға мүмкіндік беретін веб-контент. Дамыған экожүйедегі білім беру мазмұнын басқару және жариялау жүйесі CMS Alfresco негізінде құрастырылған.

Оқу әрекетін басқару жүйесі (LAMS) оқу орындарындағы әкімшілік процестерді қолдауға, құжат айналымын оңтайландыруға және басқарудың ұйымдастырушылық персонал қызметтерін реттеу үшін қажет.

Ашық желі көздерінде жұмыс берушілердің талаптарын іздеу, жинау және интеллектуалды талдау жүйесі - интернет. Бұл компонент үлкен деректермен жұмыс істеуге арналған аналитикалық технологияларды енгізеді және мамандарды оқыту траекториясын жедел түзету үшін, білім беру бағдарламалары мен мазмұнын жаңарту процесін қолдау үшін қажет.

Бұлттық қойма - білім беру мазмұнын сақтауға және электрондық білім беру ресурстары мен құралдарына қолжетімділікті қамтамасыз етуге арналған жүйе.

Жұмыс берушілердің талаптарын жинақтау, шоғырландыру және интеллектуалдық талдау жүйесі ақпараттық-білім беру ортасын құрудың кері байланыс механизмі ретінде әрекет етеді. Бұл компонент Интернетте үлкен деректерді жинауды және өңдеуді қамтамасыз ететін құралдар жиынтығын қамтиды.

Ұсынылған үлгілер мен әдістер білім беру бағдарламалары мен электрондық ресурстарға қойылатын сыртқы талаптар ауқымын ескереді. Ақпараттық ортада білім беру үдерістерін басқару мәселесі стандарттар мен жұмыс берушілердің өзгеретін талаптарына сәйкестендірілген білім беру бағдарламалары мен мазмұнын синхрондау және жаңарту арқылы шешіледі. Зерттеу нәтижелері жұмыс берушілердің құзыреттілік талаптарын ескере отырып, білім беру бағдарламалары мен мазмұнын жаңарту арқылы мамандарды даярлау процесін бейімдеуге арналған басқару әдістері мен құралдарын синтездейді. Өзектендіру процесі сапасыз және ескірген білім алудың тұрақсыздандыратын факторларын, тиісінше, өңірлік еңбек нарықтарында талап етілмеген мамандарды даярлау тәуекелдерін азайтуға мүмкіндік береді. Осы саладағы зерттеулерді талдау мамандардың қажетсіз құзыреттіліктерін алу мәселесі бар екенін көрсетті, өйткені оқу орындары білім беру бағдарламалары мен мазмұнын тез өзгерте алмайды. Сондай-ақ, білім беру стандарттары мен жұмыс берушілердің талаптарын ескере отырып, әртүрлі қызмет салаларындағы мамандар үшін білім беру траекторияларын дербестендіру процестерін басқару қажеттілігі өзекті болып табылады.

Әдебиеттер тізімі

1. Аванский С. М., Затылкин А. В., Юрков Н. К. Представление модели пользователя и предметной среды обучения //Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». – 2007. – Т. 1. – С. 66-67.
2. Алешева Л. Н. Интеллектуальные обучающие системы //Вестник университета. – 2018. – №. 1. – С. 149-155.
3. Интеллектуальное управление процессом обучения. Анализ и проектирование систем [Электронный ресурс] // URL: https://habrahabr.ru/post/194240/ (дата обращения: 20.11.2023).
4. Петрушин В. А. Экспертно-обучающие системы //К.: Наук. Думка. – 1992.
5. Юрков Н. К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы //Пенза: Изд-во ПГУ. – 2010.

6. Alkhatlan A., Kalita J. Intelligent tutoring systems: A comprehensive historical survey with recent developments //arXiv preprint arXiv:1812.09628. – 2018.
7. Geneva D. et al. Accentor: An Explicit Lexical Stress Model for TTS Systems. Портал психологических изданий PsyJournals.ru — https://psyjournals.ru/journals/mda/archive/2024_n2/Ksemidov_Abgaryan [Адаптивная интеллектуальная обучающая система // Моделирование и анализ данных — 2024. Том 14. № 2]

Оган Нурбек – әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университетінің докторанты; Алматы;
e-mail: o.nurik_92@mail.ru

Исабаева Даража Нагашыбаевна – п.ғ.к., қауымдастырылған профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Жасанды интеллект және Big Data кафедрасының профессор м.а.; Алматы; e-mail:daraja_78@mail.ru

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СТАТЕЙ ВИКИПЕДИИ

В.Б. Барахнин[1,2], Е.П. Мачикина[2,3], Р.Р. Мусабаев[1]
[1]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева
[2]Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Россия
[3]Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Россия
e-mail: bar@ict.nsc.ru, machikina@sibguti.ru, rmusab@gmail.com

Аннотация. *Цель данного исследования – выработать принципы технологии создания базовой онтологии предметной области на основе статей Википедии, при этом создаваемая онтология должна быть достаточно многоуровневой и обладать высокой точностью описания предметной области, достигаемой автоматизированным отсеиванием заведомо неподходящих статей, связи которых могут служить формальным основание для включения их в онтологию. На примере вики-статей, охватывающих такую область науки, как обработка естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Описанный подход позволяет из ранжированного списка статей Википедии некоторой предметной области выделить названия статей, которые наиболее точно характеризуют предметную область. Кроме того, упорядоченность списка названий статей дает возможность разместить термины и словосочетания по уровням в зависимости от коэффициента близости к главным статьям категорий.*

Решение задач в области компьютерной обработки естественного языка практически невозможно без использования онтологий соответствующих предметных областей. Однако составление онтологий «с чистого листа» требует значительных трудозатрат специалистов-экспертов, которые должны собрать все термины, достаточно полно охватывающие предметную область, согласовать их значения, установить связи и провести классификацию. С целью автоматизации названных процессов еще в начале 2000-х была разработана и реализована технология создания тезаурусов и онтологий на основе предметного указателя специализированных энциклопедий [1]. Несколько позднее было предложено использовать для тех же целей Википедию – см., например, [2-4]. Такой подход, по сравнению с использованием предметных указателей специализированных энциклопедий, имеет ряд преимуществ: гораздо более широкий охват возможных предметных областей (специализированные энциклопедии существуют, как правило, лишь по некоторым отраслям фундаментальной науки), постоянная актуализация информации, возможность создания мультиязычных онтологий, использующих мультиязычность Википедии, крупнейшей в мире онлайн-энциклопедии. Википедия содержит корпус с определениями и описательной информацией на различные темы, который можно использовать для интеллектуального анализа текста и извлечения понятий, атрибутов и отношений. Вместе с тем, поскольку создавать и редактировать статьи Википедии может любой пользователь Интернета, то надежность и точность вносимых данных спорны. Однако, как источник для построения целевого словаря для дальнейшей ручной правки, информация из Википедии вполне может быть использована.

Цель нашего исследования – выработать принципы технологии создания базовой онтологии предметной области на основе статей Википедии, при этом создаваемая онтология должна быть достаточно многоуровневой и обладать высокой точностью описания предметной области, достигаемой автоматизированным отсеиванием заведомо неподходящих статей, связи которых могут служить формальным основание для

включения их в онтологию (разумеется, полноту, превышающую заложенную в Википедию на данный момент, алгоритм превзойти не в состоянии, и восполнение пробелов онтологии все равно останется работой экспертов).

Для проведения исследования нами была выбрана активно развивающаяся область науки – обработки естественного языка (Natural Language Processing, NLP). Помимо прочего, работа со статьями Википедии, относящимися к этой предметной области, несколько облегчается тем, что их авторы, как правило, достаточно хорошо владеют технологиями создания Википедии и грамотно, проводят вики-разметку статей, что значительно облегчает процесс их автоматизированной обработки.

Итак, перейдем к описанию предлагаемого алгоритма.

В качестве списка ключевых слов и словосочетаний, то есть целевого словаря будущей онтологии, предлагается использовать названия статей раздела заданной предметной области англоязычного сегмента Википедии. Текст статей берется из корпуса https://www.kaggle.com/datasets/ltcmdrdata/plain-text-wikipedia-202011.

Формирование целевого словаря происходит в несколько этапов.

Этап 1

Определение названий категорий и статей из категорий раздела Natural Language Processing (NLP). Формирование списка статей и категорий происходило путем парсинга страницы https://en.wikipedia.org/wiki/Category:Natural_language_processing. Результаты парсинга сохранялись в два файла: отдельно список категорий внутри категории NLP (NLP _Categories.json) и список страниц с указанием принадлежности к категории (NLP_Pages.json)

На рис. 1 представлен фрагмент файла NLP_Categories.json с категориями раздела NLP. Для каждой категории указан уровень вложенности (для NLP 0), родительская категория (для NLP родительской категории нет), список дочерних категорий.


```
"Natural language processing": [
        0,
        null,
        [
            "Corpus linguistics",
            "Finite automata",
            "Machine translation",
            "Natural language generation",
            "Natural language processing software",
            "Optical character recognition",
            "Natural language processing researchers",
            "Statistical natural language processing",
            "Tasks of natural language processing"
        ]
    ],
    "Corpus linguistics": [
        1,
        "Natural language processing",
        [
            "Concordances (publishing)",
            "Corpora",
            "Corpus linguists",
            "English corpora",
```

```
            "Corpus linguistics journals",
            "Natural language processing toolkits",
            "Persian corpora"
        ]
    ],
```

Рис. 1. Фрагмент файла NLP_Categories.json с категориями раздела NLP

На рисунке 2 представлен фрагмент файла NLP_Pages.json с названиями статей. В файле NLP_Pages.json перечислены названия страниц с указанием категории, которой принадлежит статья.

```
    "Natural language processing": "Natural language processing",
     "Outline of natural language processing": "Natural language
processing",
      "Abdul Majid Bhurgri Institute of Language Engineering":
"Natural language processing",
    "Adversarial stylometry": "Natural language processing",
      "Affix grammar over a finite lattice": "Natural language
processing",
    "AFNLP": "Natural language processing",
    "Aggregation (linguistics)": "Natural language processing",
    "Apache OpenNLP": "Statistical natural language processing",
    "Arabic Ontology": "Natural language processing",
   "Artificial intelligence content detection": "Natural language
processing",
    "AsoSoft text corpus": "Corpora",
    "Attempto Controlled English": "Natural language parsing",
    "Attensity": "Natural language processing",
    "Augmented Analytics": "Natural language processing",
    "AUTINDEX": "Natural language processing",
       "Automated essay scoring": "Tasks of natural language
processing"
```

Рис. 2. Фрагмент файла NLP_Pages.json с названиями статей раздела NLP

Этап 2

Для автоматической фильтрации полученного списка статей Википедии предлагается ранжировать статьи внутри категорий раздела NLP по коэффициенту близости к главной статье категории (см. рис. 3). Предполагается, что более близкие статьи с большей вероятностью являются понятиями, которые характеризуют предметную область. В качестве коэффициента близости двух статей S и T используется модифицированный коэффициент Жаккара $K(S,T)=\frac{|B_S \cap B_T|}{\min(|B_S|,|B_T|)}$, где B_S, B_T – мешки слов статей S и T. Мешки слов собираются по тексту статей следующим образом. Сначала проводится очистка от знаков препинания и других символов, не входящих в слова, с помощью регулярных выражений и разбивка текста на слова по пробелам. Далее в мешки слов статьи включаются тройки последовательных слов в соответствии с работой [5], причем первым словом в тройке обязательно должно быть стоп-слово. Такой подход позволяет уменьшить объем мешков слов и точнее учитывать близость текстов.

Набор понятий для целевого словаря получается, если оставить наиболее близкие статьи из упорядоченного по коэффициенту близости списка названий статей.

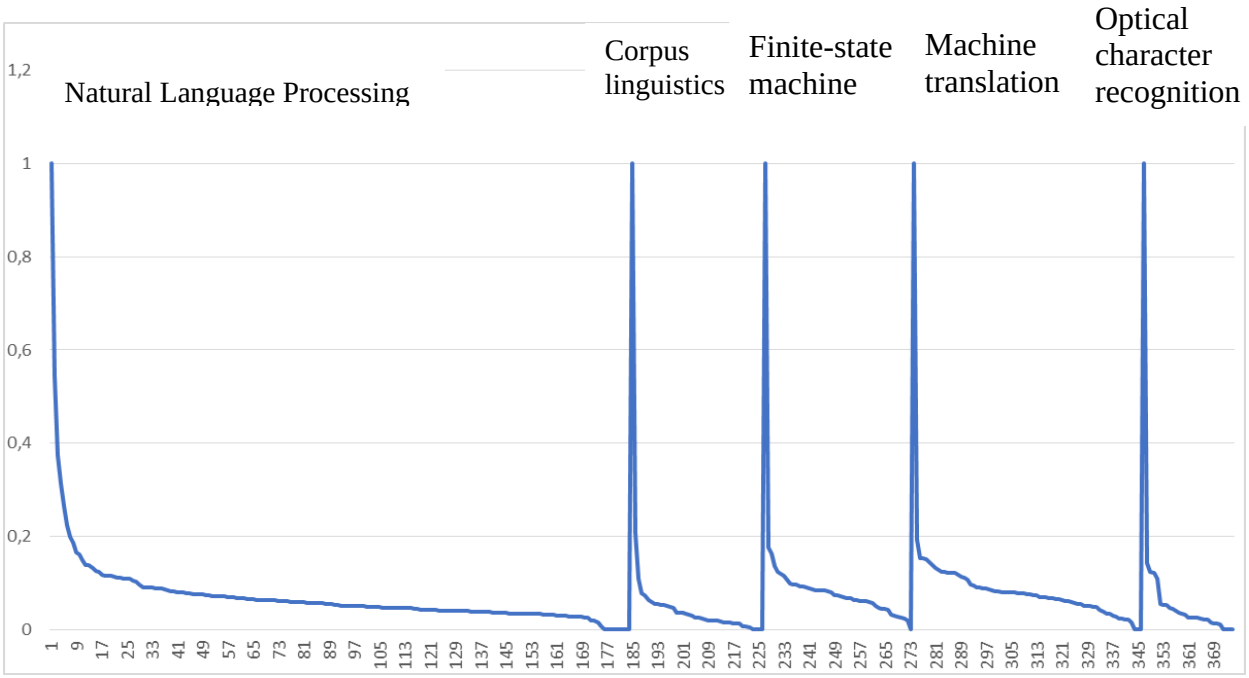


Рис. 3. Ранжирование статей по коэффициенту близости к главной статье подкатегории

Этап 3

В качестве основы для будущей онтологии предметной области предлагается разбить на уровни уже ранжированные статьи. Поскольку статьи Википедии разбиты на категории, то можно использовать уже существующую иерархическую структуру категорий для будущей онтологии. В первый уровень (рис.4) можно включить первые 10 статей категории NLP, во второй (рис.5) – следующие несколько категорий.

Natural language processing	1
History of natural language processing	0,543568465
Triphone	0,375
Outline of natural language processing	0,313193588
Language engineering	0,266666667
Naive semantics	0,225
Apache OpenNLP	0,2
Textual case-based reasoning	0,1875
SPL notation	0,166666667
Stochastic semantic analysis	0,161290323

Рис. 4. Первый уровень ранжированных статей

Latent semantic mapping	0,148148148
Natural Language Toolkit	0,138888889
Discourse relation	0,137931034
BulSemCor	0,131313131
Semantic analytics	0,126436782

Tehran Monolingual Corpus	0,125
Empirical Methods in Natural Language Processing	0,117647059
AFNLP	0,115384615
Confusion network	0,115384615
Logic form	0,115384615
Semantic decomposition	0,114503817
Affix grammar over a finite lattice	0,111111111
Minimal recursion semantics	0,111111111
Example-based machine translation	0,110169492

Рис. 5. Второй уровень ранжированных статей

На третий уровень онтологии помещаются статьи, близкие к главным статьям подкатегорий основной категории.

Описанный выше подход позволяет из ранжированного списка статей Википедии некоторой предметной области выделить названия статей, которые наиболее точно характеризуют предметную область. Кроме того, упорядоченность списка названий статей дает возможность разместить термины и словосочетания по уровням в зависимости от коэффициента близости к главным статьям категорий.

Дальнейшие исследования предложенного подхода будут развиваться в разных направлениях. Во-первых, получение словаря терминов и его ранжирование для иных предметных областей, в том числе для предметных областей гуманитарной направленности. Во-вторых, определение наиболее подходящей статьи категории для сравнения и ранжирования коэффициентов близости других статей категории. Это будет актуально в том случае, когда в категории википедии нет главной статьи. Кроме того, важной задачей для исследования является анализ графика функции коэффициентов близости статей одной категории для нахождения критерия распределения статей из ранжированного списка по уровням для онтологии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта МОН РК (код проекта BR21882268).

Список литературы

1. Барахнин В.Б. Разработка тезауруса предметной области «Математика» // Вычислительные технологии, т. 8, Региональный вестник Востока, N 3 (19), совместный выпуск. – 2003. – Часть 1. – С. 111-115.
2. Auer S., Bizer C., Kobilarov G., Lehmann J., Cyganiak R., Ives Z. // DBpedia: a nucleus for a Web of open data. In: Aberer K., et al. The Semantic Web. ISWC ASWC 2007. Lecture Notes in Computer Science. – Vol 4825. – P. 722–735. – Springer, Berlin, Heidelberg. – https://doi.org/10.1007/978-3-540-76298-0_52
3. Cui G.Y., Lu Q., Li W.J., Chen Y.R. Corpus exploitation from Wikipedia for ontology construction // Proceedings of the Sixth International Language Resources and Evaluation (LREC 2008). – Marrakech, 2008. – P. 2125–2132.
4. Grefenstette G., Rafes K. Transforming Wikipedia into an ontology-based information retrieval search engine for local experts using a third-party taxonomy // Joint Second Workshop on Language and Ontology & Terminology and Knowledge Structures (LangOnto2 + TermiKS) LO2TKS. – May 2016. – Portoroz, Slovenia. – https://inria.hal.science/hal-01224114v2

5. Theobald M., Siddharth J., Paepcke A. SpotSigs: robust and efficient near duplicate detection in large web collections // Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (SIGIR '08). – 2008. – Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. – P. 563–570. – https://doi.org/10.1145/1390334.1390431

Барахнин В.Б. – Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Россия; e-mail: bar@ict.nsc.ru

Мачикина Е.П. – Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий, Россия; machikina@sibguti.ru

Мусабаев Р.Р. – Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева; rmusab@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЗАИЛЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ

Е.Н. Амиргалиев[1,2], Т.Ж. Мерембаев[1], П.Т. Омарова[1, 2]

[1]Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Алматы, Казахстан

[2]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Данное исследование сосредоточено на анализе процесса загрязнения речных каналов через феномен заиления. Для оценки таких параметров, как скорость, давление и плотность в водной среде, было проведено численное моделирование на основе двумерного уравнения Эйлера. Прогнозирование этих параметров имеет ключевое значение для предотвращения загрязнения водных объектов вследствие осаждения частиц. Предложенная математическая модель, основанная на уравнении Эйлера, была численно реализована с использованием программного пакета Ansys Fluent. Полученные результаты могут быть применимы для борьбы с заилением речных каналов и предоставляют важные данные для составления прогнозов возможных засорений русел. Моделирование загрязнения водных путей способствует более эффективному управлению рисками и защите водных ресурсов. Результаты данного исследования окажут ценную помощь в предотвращении заиления рек и предоставят ключевую информацию для прогнозирования возможных засорений речных русел.*

Ключевые слова: *загрязнение речных каналов, уравнении Эйлера, Ansys, моделирования, река.*

Введение

Одной из ключевых причин загрязнения водных ресурсов является процесс заиления, или седиментации. Проще говоря, заиление представляет собой загрязнение водоёмов твёрдыми частицами, в основном состоящими из ила и глины.

Заиление может быть вызвано как эрозией на суше, так и деятельностью человека в водной среде (Wu et al., 2023, [1]). Неправильные методы ведения сельского хозяйства часто провоцируют эрозию почв, особенно в сельских районах. В городах же основным источником эрозии является строительная деятельность, например, вырубка растительности при возведении зданий. Также изменение климата способствует ускорению процесса заиления. В этой связи предотвращение эрозии и сохранение растительного покрова становятся первоочередными задачами для сельскохозяйственного сектора.

Процесс заиления рек является крайне нестабильным (Hooning E.M., 2011, [2]) и представляет серьёзную угрозу для жизни людей, проживающих в поймах, а также для их имущества, инфраструктуры и окружающей среды. Увеличение частоты экстремальных погодных явлений повышает риск наводнений в таких реках (Dottori et al., 2018, [3]). Например, значительное заиление рек Коси и Инд в Южной Азии привело к образованию высоких русел, что в итоге стало причиной прорыва плотин в 2008 и 2010 годах, вызвав серьёзные разрушения в населённых пунктах ниже по течению (Sinha et al., 2014, [4]).

Таким образом, управление заиленными реками крайне важно, так как эта проблема касается не только учёных, но и политиков и требует дальнейшего детального исследования. Прогнозирование поведения таких рек усложняется за счёт сложных гидродинамических процессов (Philips et al., 2022, [5]). Аллювиальные реки представляют собой естественно самоорганизующиеся системы, в которых происходят процессы эрозии и осаждения наносов. Однако антропогенные вмешательства, такие как строительство

плотин, ирригация и изменения в землепользовании, могут существенно изменять эти процессы (Best and Darby, 2020, [6]), что приводит к отклонению топографической эволюции реки от естественного пути (Marren et al., 2014, [7]).

Эти изменения могут негативно повлиять на социально-экономические функции рек, такие как судоходство, водоснабжение и защита от наводнений. Поэтому реки следует рассматривать как сложные природные системы, требующие комплексного подхода к управлению (Hawley, 2018, [8]; Merembayev, 2023, [9]).

Материалы и методы

Для более детального исследования описываемой проблемы необходимо проведение натурных экспериментов (Powledge et al., 1989, [10]; Schmocker and Hager 2009, [11]), позволяющих исследовать характер движения потока воды и осадочного слоя при различных условиях, а также реальных наблюдений (Froehlich 2008, [12]). Несмотря на то, что реальные наблюдения наглядно демонстрируют проблему, они зачастую плохо документированы. В противоположность этому, проведение экспериментов в специально обустроенных лабораториях дает возможность наблюдать за процессом эрозии и заиливания воочию. Так, были проведены многочисленные лабораторные эксперименты, исследующие засорение ручьев частицами ила (Fetzer et al., 2017, [13]; Yao et al., 2013, [14]; Kazidenov et al., 2023 [15]; Omirbekov et al., 2023, [16]). Тем не менее, масштабные реальные эксперименты по процессу заиливания не только крайне сложны в исполнении, они также требуют огромных ресурсных затрат. Дороговизна лабораторных экспериментов не дает возможности проводить данный процесс с необходимой частотой. Наиболее близкой и точной заменой натурному эксперименту на сегодняшний день является численное моделирование. Численное моделирование, хотя и требует наличие высокопроизводительных компьютеров, в целом является менее ресурсоемким в отличие от лабораторных экспериментов. Зачастую разработанный численный алгоритм проходит аппробацию на основании экспериментальных данных (Ecemis, 2021, [17]; Narbayev et al., 2 022, [18]); Amirgaliyev, et al., 2023, [19]. В исследовании (Soares-Frazão et al., 2007, [20]) представлен лабораторный эксперимент, демонстрирующий морфологические изменения в речном канале и разрушения берегов реки. Дно и берега речного канала состояли из однородного песка, а поперечное сечение экспериментальной установки имеет форму прямоугольной трапеции. В статье (Goutiere et al., 2011, [21]) продемонстрирован характер поведения потока воды в расширяющейся установке над подвижным слоем однородного песка.

Результаты и обсуждения. Основные уравнения

Уравнение Эйлера, как правило, применяется для моделирования гидродинамических процессов, таких как движение жидкости или газа в пространстве. Для использования уравнения Эйлера в контексте загрязнения и заливания реки, вы можете его модифицировать и дополнить другими уравнениями, чтобы учесть факторы, связанные с загрязнением и распространением загрязнителей. На рисунке 1 показаны примеры загрязнения и заливания реки Сырдарья в Туркестанской области.

Рисунок 1 - Загрязнения и заливания реки Сырдарья в Туркестанской области

В данном исследовании рассматривается задача моделирования гидродинамики ударной волны. В качестве математической модели рассмотрено уравнение Эйлера. Один и з способов освоения уравнений Эйлера заключается в их формулировке в виде законов сохранения, где каждое уравнение представляет собой фундаментальный закон сохранения физики. В этих уравнениях сохранения ключевым понятием является поток. В контексте одномерного описания, поток величины служит мерой этой величины, проходящей через определенную точку. В двумерном описании поток представляет собой количество данной величины, пересекающей линию, а в трехмерном — поверхность. В данной статье мы сосредотачиваемся на одномерном описании.

Рассмотрим одномерные сжимаемые уравнения Эйлера в характеристической форме, где $\Omega \subset R$

$$\frac{dU}{dt} + A\frac{dU}{dx} = 0, (x, t \in \Omega \times (0,T), \tag{1}$$

где,

$$U = (\rho, u, p)^T, A = \begin{pmatrix} u & \rho & 0 \\ 0 & u & \frac{1}{\rho} \\ 0 & \rho a^2 & u \end{pmatrix},$$

где, $a = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$ - скорость звука, ρ - плотность, u - скорость, p - давление, а γ - коэффициент теплоемкости. Обычно для стандартной гидродинамической задачи об ударной трубе начальное условие имеет вид:

$$\mathrm{U}(\mathrm{x}, 0) = U_0 = \begin{cases} u_L, x < x^* \\ u_R > x^* \end{cases}, u_L = [\rho_L, u_L, p_{L,}], u_R = [\rho_R, u_R, p_{R,}] \tag{2}$$

с граничными условиями Дирихле, принимающими на границах значения начального условия.

Перед моделированием, мы рассмотрим, что означает пространственной Ω области задачи. Мы увеличиваем Ω, тем самым, что если u_L > u_R, Ω расширяется так, что начальное состояние наклоняется влево от вновь расширенной пространственной области $\Omega_в$.

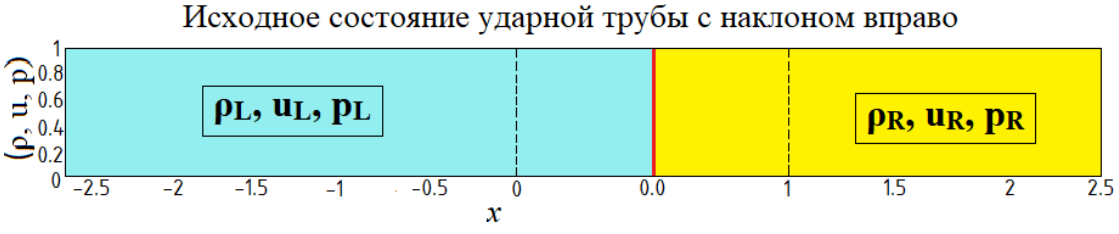


Рисунок 2 - Пример расширения домена. Данный домен [0; 1] расширен до [-2.625; 2.5]

Математическая модель и алгоритм численного моделирования

Математическая модель включает в себя двумерное уравнение Эйлера, которое описывает скорость распространения волны, контактный разрыв и ударную прерывистость. Задача ударной трубы имеет аналитическое решение, которое применимо до момента, когда ударная волна достигает края трубы, как описано в работе Jr. Anderson,

J.D. (1989) [22]. Аналитическое решение этой задачи Sod часто используется как иллюстративный пример при работе с сжимаемыми расчетами. Помимо этого, аналитическое решение данной задачи можно получить с использованием точных решателей Римана, как указано в [23] и [24]. В данной работе мы представляем численное м оделирование двумерной задачи Sod с использованием программного пакета ANSYS Fluent.

Алгоритм на основе плотности решает основные уравнения неразрывности, количества движения и (где это необходимо) энергии и переноса веществ одновременно. Управляющие уравнения для дополнительных скаляров будут решаться впоследствии и последовательно (т. е. отдельно друг от друга и от связанного набора). Поскольку основные уравнения нелинейны (и связаны), необходимо выполнить несколько итераций цикла решения, прежде чем будет получено сходящееся решение. Каждая итерация состоит из шагов, описанных ниже:

1) Обновите свойства жидкости на основе текущего решения. (Если расчет только начался, свойства жидкости будут обновлены на основе инициализированного решения).

2) Решите уравнения неразрывности, импульса и (где это уместно) энергии и видовых уравнений одновременно.

3) При необходимости решите уравнения для скалярных величин, таких как турбулентность и радиация, используя ранее обновленные значения других переменных.

4) Если необходимо включить межфазную связь, обновите исходные члены в соответствующих уравнениях непрерывной фазы с расчетом дискретной фазовой траектории.

5) Проверить сходимость системы уравнений.

Эти шаги продолжаются до тех пор, пока не будут выполнены критерии сходимости.

В методе решения на основе плотности можно решить связанную систему уравнений (уравнения непрерывности, импульса, энергии и видов, если они доступны), используя либо связанную явную формулировку, либо связанную неявную формулировку. Основное различие между явной и неявной формулировками на основе плотности.

В методах решения на основе плотности дискретные нелинейные основные уравнения линеаризуются для получения системы уравнений для зависимых переменных в каждой в ычислительной ячейке. Результирующая линейная система затем решается, чтобы получить обновленное решение поля течения. Способ линеаризации основных уравнений может принимать «неявную» или «явную» форму по отношению к интересующей зависимой переменной (или набору переменных). Под неявным или явным подразумевается следующее:

Неявный: для данной переменной неизвестное значение в каждой ячейке вычисляется с использованием отношения, которое включает как существующие, так и неизвестные значения из соседних ячеек. Поэтому каждое неизвестное будет фигурировать более чем в одном уравнении системы, и эти уравнения необходимо решать одновременно, чтобы получить неизвестные величины.

Явный: для данной переменной неизвестное значение в каждой ячейке вычисляется с использованием отношения, которое включает только существующие значения. Поэтому каждое неизвестное будет появляться только в одном уравнении в системе, и уравнения для

неизвестного значения в каждой ячейке можно решать по одному, чтобы получить неизвестные величины.

В методе решения на основе плотности есть выбор использования неявной или явной линеаризации основных уравнений. Этот выбор применяется только к связанному набору основных уравнений. Уравнения переноса для дополнительных скаляров решаются отдельно от связанного набора (например, турбулентности, излучения и т. д.). Уравнения переноса линеаризуются и решаются неявным образом. Независимо от выбора неявного или явного методов, процедура решения, описанная выше, выполняется.

Если выбор пал на явный вариант решателя на основе плотности, каждое уравнение в связанном наборе основных уравнений линеаризуется явно. Это приведет к системе уравнений с N уравнениями для каждой ячейки в домене, и точно так же все зависимые переменные в наборе будут обновлены одновременно. Однако эта система уравнений является явной относительно неизвестных зависимых переменных. Например, уравнение импульса записывается так, что обновленная скорость является функцией существующих значений переменных поля. Из-за этого решатель линейных уравнений не нужен. Вместо этого решение обновляется с помощью многоэтапного решателя (Рунге-Кутта). Здесь есть дополнительная возможность использовать многосеточную схему хранения полного приближения (FAS) для ускорения многоэтапного решателя. Таким образом, явный подход на основе плотности решает для всех переменных (p, u, v, w, T) одну ячейку за раз.

Численное моделирование шоковой ванны (sod's shock tub)

Данное исследование направлено на моделировании проблемы sod's shock tub. Задача заключается в моделировании распространения нормальной ударной волны внутри ударной трубы в экспериментальных условиях. Полученные численные результаты является широко популярным методом в моделировании течения жидкости.

Для проверки правильности и точности используемой математической модели тестовая задача решалась численно, опираясь на исследование других авторов.

Для этого использовали 2D Shocktube model, которая представляет собой длинную металлическую трубу, состоящую из двух камер и разделенную диафрагмой. Диафрагма разделяет область высокого давления от области низкого давления (Anderson Jr., J.D., 2003, [25]). После удаления диафрагмы скачок уплотнения и контактный разрыв начинают двигаться в область изначально низкого давления, а волна разрежения — в область изначально высокого давления (Khodadadi Azadboni et al., 2013, [26]). В задаче использовали два разных решателей: driver and driven. Используемая камера состоит из двух газов с большим коэффициентом давления. Таким образом, одна камера заполняется ideal-gas высокого давления, как driver, а другая камера -наоборот, низкого давления, и называется driven. Схематическое изображение исследуемого резервуара представлено на рисунке 3. Длина данного резервуара равна L_b=1m и H_b=0.03m. При моделировании в диафрагму был встроен механизм прокалывания, который разрывает диафрагму при заданных условиях. Когда контакт внезапно прерывается, возникает серия волн давления, которые вызывают ударную волну.

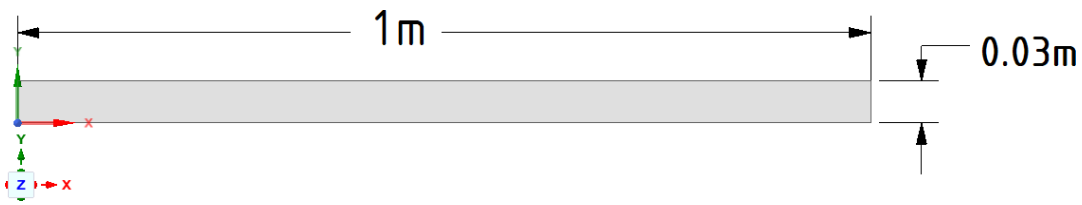


Рисунок 3 - Геометрия тестовой задачи

Для данной задачи была использована структурированная вычислительная сетка, общее количество элементов которой составило 30 000, количество узлов - 31 031. Face meshing=1e-03m. Вычислительная сетка для исследуемой области представлена на рисунке 4. Общая продолжительность расчета задачи составляет: Number of time steps=3000.

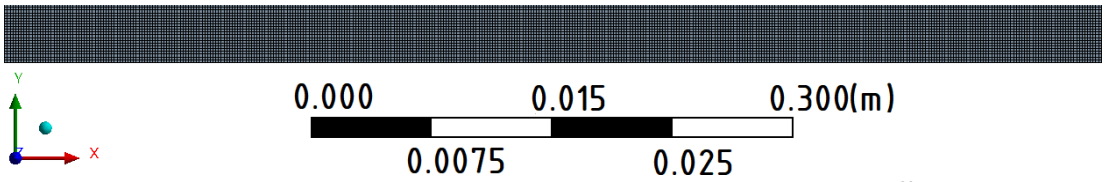


Рисунок 4 - Вычислительная сетка для тестовой задачи

На рисунке 5 продемонстрированы начальные условия для рассматриваемой области при t=0. Диафрагма разделяет ideal-gas с разным давлением и плотностью, а скорость с двух сторон равна 0. Все границы были заданы как стены.

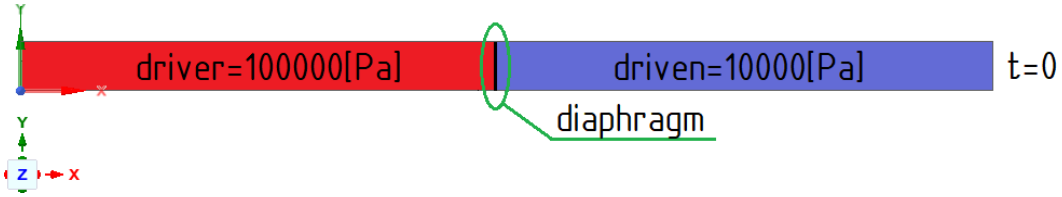


Рисунок 5 - Начальные условия для тестовой задачи

Как видно, численные результаты моделирования хорошо показывает резкое изменение давления, плотность и скорости. Полученные результаты представлены на рисунке 6-8.

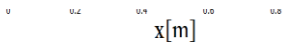


Рисунок 6 - Изменение давлении вдоль ударной трубы.

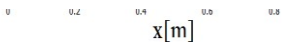


Рисунок 7 - Изменение плотности вдоль ударной трубы.

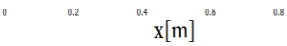


Рисунок 8 - Изменение скорости вдоль ударной трубы.

Заключение

В данной работе разработана математическая модель, основанная на двумерном уравнении Эйлера, которая используется для оценки скорости, давления и плотности в

водной среде. С помощью этой модели были получены качественные численные результаты, имеющие важное значение для дальнейшего моделирования процессов заиливания речных русел и каналов. Прогнозирование этих параметров играет важную роль в предотвращении загрязнения водоемов в результате седиментации. Особую ценность представляет то, что метод Эйлера позволяет анализировать различные характеристики жидкости, включая плотность, что делает его универсальным для моделирования как сжимаемых, так и несжимаемых, ньютоновских и неньютоновских жидкостей.

В ходе данного исследования удалось достичь высокой точности численных расчетов, особенно в контексте сжимаемых потоков. Это способствует более глубокому пониманию поведения жидкости в различных условиях и сценариях.

В дальнейшем планируется расширить область применения метода Эйлера, интегрируя физически информированные нейронные сети (PINN) для решения задач с более высокими размерами. Такой подход позволит более детально исследовать проблемы, связанные с заиливанием рек. Также планируется анализ уравнений Эйлера и Навье-Стокса с использованием метода PINN и сравнительное исследование с другими методами, такими как метод конечных элементов (FEM). Это поможет более глубоко исследовать потенциал метода PINN и его применимость для различных задач гидродинамики и экологического управления водными системами.

Благодарность. Данная работа выполнена при поддержке проекта ПЦФ BR18574144 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Список литературы

1. Wu, X., Feng, X., Fu, B., Yin, S., He, C. (2023). Managing erosion and deposition to stabilize a silt-laden river. Science of The Total Environment, Volume 881, 163444, ISSN 0048- 9697, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163444.
2. Hooning E.M. Flooding and sediment management on the Koshi alluvial fan, Nepal M.Sc. T hesis Delft University of Technology, Delft (2011)
3. Dottori, F., Szewczyk, W., Ciscar, J.-C., Zhao, F., Alfieri, L., Hirabayashi, Y., Feyen,
4. L. (2018). Increased human and economic losses from river flooding with anthropogenic w arming. Nature Climate Change. doi:10.1038/s41558-018-0257-z
5. Sinha, R., Sripriyanka, K., Jain, V., & Mukul, M. (2014). Avulsion threshold and planform dynamics of the Kosi River in north Bihar (India) and Nepal: A GIS framework.
6. Geomorphology, 216, 157–170. doi:10.1016/j.geomorph.2014.03.03
7. Phillips, C.B., Masteller, C.C., Slater, L.J., Dunne, K.B.J., Francalanci, S., Lanzoni, S., et al., (2022). Threshold constraints on the size, shape and stability of alluvial rivers. Nat. Rev. Earth Environ. 3, 406–419.
8. Best, J., & Darby, S. E. (2020). The Pace of Human-Induced Change in Large Rivers: Stresses, Resilience, and Vulnerability to Extreme Events. One Earth, 2(6), 510–514. doi:10.1016/j.oneear.2020.05.021
9. Marren, P. M., Grove, J. R., Webb, J. A., & Stewardson, M. J. (2014). The Potential for Dams to Impact Lowland Meandering River Floodplain Geomorphology. The Scientific World Journal, 2014, 1–24. doi:10.1155/2014/309673
10. Hawley, R. J. (2018). Making Stream Restoration More Sustainable: A Geomorphically, Ecologically, and Socioeconomically Principled Approach to Bridge the Practice with the Science. BioScience, 68(7), 517–528. doi:10.1093/biosci/biy048

11. Omarova, P., Merembayev, T., & Amirgaliyev, Y. (2023). Mathematical modeling of water movement during a dam break using the vof method. Scientific Journal of Astana IT University, 14(14). https://doi.org/10.37943/14YNSZ2227
12. Powledge, G.R., Ralston, D.C., Miller, P., Chen, Y.H., Clopper, P.E., Temple, D.M. (1989). Mechanics of overflow erosion on embankments. I: Research activities; II/hydraulic and design considerations. J. Hydraulic Eng. 115(8), 1040–1075.
13. Schmocker, L., Hager, W.H. (2009). Modelling dike breaching due to overtopping.
14. J. Hydraulic Res. 47 (5), 585–597
15. Froehlich, D.C. (2008). Embankment dam breach parameters and their uncertainties. J. Hydraulic Eng. 134(12), 1708–1721.
16. Fetzer, J., Holzner, M., Plötze, M., & Furrer, G. (2017). Clogging of an Alpine streambed by silt-sized particles – Insights from laboratory and field experiments. Water Research, 126, 60–69. doi:10.1016/j.watres.2017.09.015
17. Yao, P., Su, M., Wang, Z., van Rijn, L. C., Zhang, C., Chen, Y., & Stive, M. J. F. (2015). Experiment inspired numerical modeling of sediment concentration over sand–silt mixtures. Coastal Engineering, 105, 75–89. doi:10.1016/j.coastaleng.2015.07.008
18. Kazidenov, D., Khamitov, F., & Amanbek, Y. (2023). Coarse-graining of CFD- DEM for simulation of sand production in the modified cohesive contact model. Gas Science and Engineering, 113, 204976.
19. Omirbekov, S., Colombano, S., Alamooti, A., Batikh, A., Cochennec, M., Amanbek, Y., ... & Davarzani, H. (2023). Experimental study of DNAPL displacement by a new densified polymer solution and upscaling problems of aqueous polymer flow in porous media. Journal of Contaminant Hydrology, 252, 104120.
20. Ecemis, N. (2021). Experimental and numerical modeling on the liquefaction potential and ground settlement of silt-interlayered stratified sands. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 144, 106691. doi:10.1016/j.soildyn.2021.106691
21. Narbayev, B., & Amanbek, Y. (2022, July). Finite Element Model for Wind Comfort Around a Tall Building: A Case Study of Tower of Qazaqstan. In Computational Science and Its Applications–ICCSA 2022 Workshops: Malaga, Spain, July 4–7, 2022, Proceedings, Part IV (pp. 540-553). Cham: Springer International Publishing.
22. (2023). Amirgaliyev, Y. Merembayev, T., Omarova, P., (2023). Numerical simulation of a dam break for incompressible viscous flow. KazATC Bulletin, 127(4). Retrieved from https://vestnik.alt.edu.kz/index.php/journal/article/view/1335
23. Soares-Frazão, S., Le Grelle, N., Spinewine, B., & Zech, Y. (2007). Dam-break induced morphological changes in a channel with uniform sediments: measurements by a laser- sheet imaging technique. Journal of Hydraulic Research, 45(sup1), 87–95–87–95.
24. Goutiere, L., Soares-Frazão, S., & Zech, Y. (2011). Dam-break flow on mobile bed in abruptly widening channel: experimental data. Journal of Hydraulic Research, 49(3), 367–371.
25. Anderson, Jr., J. D. Modern Compressible Flow with Historical Perspective, McGraw Hill Professional Publishing, 2nd ed., Oct. 1989.
26. Modern compressible flow: with historical perspective. Third edition. McGraw-Hill.
27. Riemann Solvers and Numerical Methods for Fluid Dynamics: A Practical Introduction. Third edition. Springer
28. Anderson, Jr., J. D. Modern Compressible Flow: With Historical Perspective, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, USA, 2003
29. Khodadadi Azadboni, R., et al. (2013). Evaluate Shock Capturing Capability with the numerical method in OpenFOAM, Journal of THERMAL SCIENCE, Vol. 17, No. 4, pp. 1255-1260.

Амиргалиев Едилхан Несипханович – Академик Национальной инженерной академии РК, д.т.н., профессор. Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахский национальный университет имени аль-Фараби;
050000, Алматы;

Тимур Жумаканович – научный сотрудник. Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК;
050000, Алматы; e-mail: merembaevt@gmail.com;

Омарова Перизат Танирбердиевна – научный сотрудник. Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК, Казахский национальный университет имени аль-Фараби;
050000, Алматы; e-mail: omarova.peryzat2@gmail.com

ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЖОЛДЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫН АНЫҚТАУ

Самбетбаева А.К.
e-mail: sambetbaevamea@gmail.com
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы,Қазақстан

Аңдатпа. *Бұл зерттеудің мақсаты - жол зақымдануын анықтау үшін терең оқыту технологияларын қолданып, жол қозғалысының тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыру. Зерттеу жолдың зақымдануын автоматты түрде анықтау үшін қолданылатын танымал модельдердің тиімділігін салыстыруға бағытталған: Single Shot MultiBox Detector (SSD) және U-Net.*

Методология әртүрлі типтегі жолдың зақымдануларын, мысалы, жарықтар, ойықтар және басқа деформацияларды қамтитын алуан түрлі және сапалы деректер жиынтықтарын пайдалана отырып, SSD және U-Net модельдерін оқытуды және бағалауды қамтиды. SSD моделі, нақты уақыт режимінде объектілерді анықтау мүмкіндіктерімен танымал, ал U-Net моделі семантикалық сегментацияға мамандандырылған, бұл модельдердің осы тапсырмадағы тиімділігін бағалау үшін қолданылды.

Зерттеу нәтижелері SSD моделі нақты уақыт режимінде объектілерді дәл анықтауда жоғары тиімділігін көрсететін 0.5362 орташа дәлдік мәніне (mAP) қол жеткізгенін көрсетті. U-Net моделі керісінше, 0.34 mAP мәніне жетіп, объектілердің шекараларын дәл анықтау және локализациялау қажет болатын тапсырмаларда өзінің тиімділігін көрсетті.

Бұл зерттеудің ғылым үшін маңыздылығы терең оқыту модельдерінің жолдың зақымдануларын анықтау тапсырмаларындағы тиімділігін кешенді бағалауды ұсынуда жатыр. Алынған нәтижелер болашақ зерттеулер мен осы модельдерді нақты деректерге қолдануды жақсартудың негізі бола алады, бұл өз кезегінде жол инфрақұрылымының қауіпсіздігі мен сапасын арттыруға ықпал етеді.

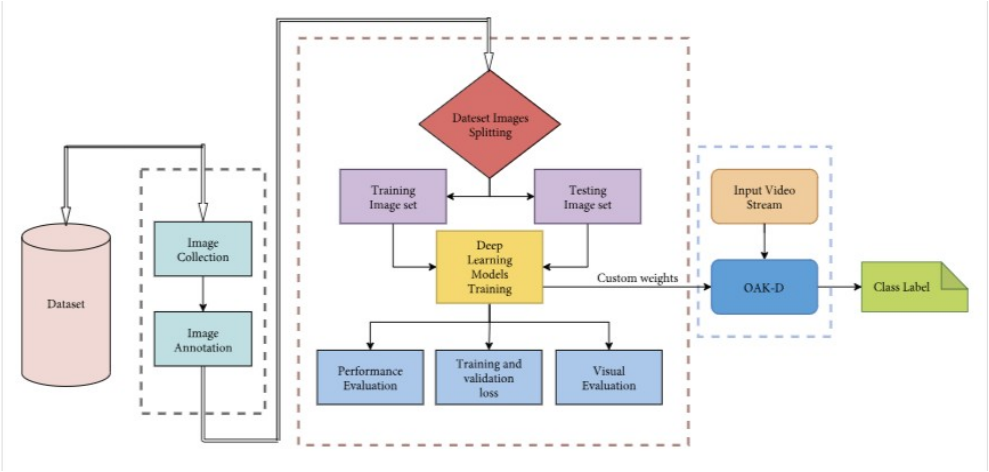
Түйін сөздер*: жолдың зақымдануы, объект, SSD модель, U-Net модель, нейрондық желілер.*

Кіріспе

Жол инфрақұрылымы елдің экономикалық өркендеуі мен әлеуметтік дамуының маңызды тірегі болып табылады. Жол беттеріндегі жарықтар, ойықтар және шұңқырлар сияқты зақымдану жол қозғалысы қауіпсіздігіне елеулі қауіп төндіріп, тұрақты бақылау мен жөндеуді талап етеді. Бұл зақымдану уақыт өте келе нашарлап, апаттық жағдайларға және жол қозғалысы қауіпсіздігінің төмендеуіне себеп болуы мүмкін. Осындай жағдайлардың алдын алу үшін жол беттерінің күйін үнемі және дәл бақылау қажет.

Зерттеудің мақсаты - әртүрлі жағдайларда жолдағы зақымдануларды анықтауды қай модель тиімді орындайтынын анықтау. Зерттеу терең оқыту модельдері дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жолдың жай-күйін бақылау процесін едәуір жақсартып, жоғары дәлдік пен жеделдікті қамтамасыз ете алады деген болжамды тексеруге бағытталған.

Қазіргі заманғы терең оқыту технологиялары жолдың жай-күйін бақылау үрдісін автоматтандыруға жаңа тәсілдерді ұсынады. Конволюциялық нейрондық желілерді (CNN) қолдану жолдағы зақымдануды анықтау және жіктеу үрдісін автоматтандыруға мүмкіндік береді, дәстүрлі әдістермен салыстырғанда жоғары дәлдік пен жеделдікті қамтамасыз етеді. Терең нейрондық желілерді оқыту және бағалау 1-суретте көрсетілген.



1-сурет. Терең нейрондық желілерді оқыту және бағалау

Бұл сурет деректер жинаудан бастап, модельдерді оқыту және нәтижелерді бағалауға дейінгі барлық кезеңдерді қамтиды. Әрбір қадам төменде егжей-тегжейлі сипатталған.

Алдымен, деректер жинау және аннотациялау кезеңі жүзеге асырылады. Бұл зерттеу үшін әртүрлі жол жағдайларындағы зақымданулардың суреттерін қамтитын үлкен деректер жиынтығы пайдаланылады. Жол жабындарының суреттерін жинау үшін дрондар мен мобильді құрылғылар қолданылады. Бұл құрылғылар жоғары сапалы камералармен және GPS модульдерімен жабдықталған, бұл суреттердің дәлдігін арттырады. Жиналған суреттерге аннотация жасалады, яғни әрбір суретте зақымданған аймақтар белгіленеді. Бұл процесс суреттерді оқыту деректер жиынтығы ретінде пайдалануға дайын етеді.

Келесі кезеңде деректер жиынтығы оқыту және тестілеу жиынтықтарына бөлінеді. Оқыту жиынтығы модельдерді оқыту үшін, ал тестілеу жиынтығы олардың тиімділігін бағалау үшін қолданылады. Жиналған және аннотацияланған суреттердің негізінде терең оқыту модельдері оқытылады. Оқыту процесі барысында модельдердің салмақтары реттеліп, олардың дәлдігі мен тиімділігі арттырылады. Модельдер әртүрлі зақымдануларды тануды және жіктеуді үйренеді. Оқыту процесі аяқталғаннан кейін модельдердің өнімділігі әртүрлі метрикалар бойынша бағаланады. Бұл метрикаларға дәлдік (accuracy), толықтық (recall), нақтылық (precision) және F1-бағалау (F1-score) жатады. Модельдердің оқыту және тексеру жиынтықтарындағы шығындары графиктер арқылы көрсетіледі. Бұл графиктер модельдердің тиімділігі мен конвергенциясын бағалауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, модельдердің нәтижелері визуалды түрде бағаланады. Бұл зақымдануларды анықтау және жіктеу процесінің сапасын көзбен шолу арқылы тексеруге мүмкіндік береді.

Зерттеудің негізгі гипотезасы SSD және U-Net модельдері өздерінің архитектуралық ерекшеліктерінің арқасында жол жабынындағы зақымдануларды анықтау дәлдігі мен жылдамдығын едәуір арттыра алады дегенді қамтиды. Жол беттеріндегі зақымдарды анықтау және жіктеу модельдерінің ішінде SSD (Single Shot MultiBox Detector) және U-Net ерекше орын алады. SSD моделі объектілерді бірнеше масштабта және абстракция деңгейлерінде бір өту арқылы анықтайды, бұл жоғары жылдамдық пен дәлдікті қамтамасыз етеді. Бұл модель үлкен деректер жиынтықтарын өңдейді және жоғары дәлдікпен зақымдалған аймақтарды анықтай алады. U-Net моделі бастапқыда биомедициналық кескіндерді сегментациялау үшін әзірленген және жол беттерінің зақымдалуын сегментациялау мен жіктеуде кеңінен қолданылады. SSD моделі объектілерді бірнеше масштабта және абстракция деңгейлерінде бір өту арқылы анықтайды, бұл жоғары жылдамдық пен дәлдікті қамтамасыз етеді. Бұл модель үлкен деректер жиынтықтарын өңдейді және жоғары дәлдікпен зақымдалған аймақтарды анықтай алады. SSD моделі объектілерді анықтаудың жоғары жылдамдығы мен дәлдігін қамтамасыз етеді, бірақ кейде

ұсақ зақымдарды анықтауда қиындықтарға тап болуы мүмкін. Сонымен қатар, SSD модельдерінің артықшылықтары арасында олардың нақты уақыт режимінде жұмыс істеу қабілеті бар, бұл жол инспекциясы мен жөндеу жұмыстарын жеделдетеді.

U-Net моделі бастапқыда биомедициналық кескіндерді сегментациялау үшін әзірленген және жол беттерінің зақымдалуын сегментациялау мен жіктеуде кеңінен қолданылады. Бұл модель жоғары сегментация дәлдігін қамтамасыз етеді, бірақ үлкен есептеу ресурстарын қажет етуі мүмкін. U-Net модельдерінің артықшылықтары олардың сегментацияның жоғары дәлдігімен байланысты, бұл оларды ұсақ және күрделі зақымдарды анықтауда тиімді етеді. Дегенмен, үлкен көлемдегі деректерді өңдеу үшін U-Net модельдері үлкен есептеу қуатын қажет етеді, бұл олардың қолдану аясын шектей алады.

SSD және U-Net модельдерінің артықшылықтары мен кемшіліктері олардың архитектуралық ерекшеліктеріне байланысты айқындалады. SSD кейде ұсақ зақымдарды анықтауда қиындықтарға тап болуы мүмкін, бұл оның нақтылығын төмендетуі мүмкін. Сонымен қатар, SSD модельдері үлкен есептеу қуатын талап етеді, бұл олардың кейбір жағдайларда қолданылуын шектейді. U-Net модельдерінің артықшылығы олардың сегментацияның жоғары дәлдігімен байланысты, бұл жол жабындарының зақымдануларын толық анықтауға ықпал етеді. U-Net модельдерінің жұмыс жылдамдығы SSD модельдеріне қарағанда баяу болуы мүмкін, бұл нақты уақыт режимінде қолдануға кедергі келтіруі мүмкін.

SSD және U-Net модельдерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін ескере отырып, оларды жол жабындарының зақымдануларын анықтау және классификациялау саласында тиімді пайдалану үшін оңтайлы таңдау жасау қажет. Бұл модельдердің қолдану салаларын дұрыс анықтау және олардың артықшылықтарын тиімді пайдалану жол инфрақұрылымының сапасын бақылауды жақсартуға және жол қозғалысының қауіпсіздігін арттыруға мүмкіндік береді.

Бұл мақалада SSD және U-Net модельдерінің жол беттерінің зақымдалуын анықтау және жіктеу бойынша заманауи тәсілдері қарастырылады, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері талқыланады, сондай-ақ болашақ даму перспективалары көрсетіледі. Мұндай технологияларды енгізу жол инфрақұрылымының қауіпсіздігі мен сенімділігін арттыруға ықпал етеді. Жолдардың сапасын жақсарту арқылы адамдардың өмір сапасын көтеруге, экономиканы дамытуға және қауіпсіздікті қамтамасыз етуге болады. Жол инфрақұрылымындағы инновациялық шешімдер болашақта жолдарды жөндеу мен қызмет көрсетуді оңтайландырып, тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді.

Әдебиеттік шолу

SSD моделі объектілерді нақты уақыт режимінде анықтау үшін ең танымал әдістердің бірі болып қала береді. Жұмыста [1] бейімді механизмдер мен деректерді алдын ала өңдеудің жетілдірілген стратегияларын қамтитын SSD-нің жақсартылған архитектурасы қарастырылған, бұл жалған іске қосулар санын айтарлықтай азайтуға және модельдің жалпы дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Авторлар [2] SSD-ні жол жабындарының зақымдануын анықтау үшін қолданған, олардың нәтижелері модельдің әртүрлі зақымдану түрлерін нақты уақыт режимінде жоғары дәлдікпен анықтай алатындығын көрсетті.

Зерттеушілер [3] жол зақымдануларын анықтау үшін SSD моделін жақсартып, назар аудару механизмдерін (attention mechanisms) және кеңейтілген оқыту деректер жиынтығын енгізді. Бұл дәлдікті арттыруға және жалған іске қосулар санын азайтуға мүмкіндік берді. Қосымша зерттеулерде SSD-нің жол зақымдануларын анықтау тапсырмаларындағы тиімділігін растап, оның жоғары жылдамдық пен дәлдікті қамтамасыз ететінін атап өтті [4-5].

U-Net моделі кескіндерді сегментациялау тапсырмалары, соның ішінде жол жабындарының зақымданулары үшін кеңінен қолданылады. Ғалымдар биомедициналық кескіндердегі сегментацияның жоғары дәлдігін көрсеткен түпнұсқа U-Net архитектурасын ұсынды [6]. Жол жабындарының зақымдануларын сегментациялау тапсырмалары үшін U-Net-ті бейімдеп, сегментация мен жарықтарды классификациялаудың дәлдігін арттыру үшін қосымша қабаттар қосты [7].

Жұмыста бетон беттеріндегі жарықтарды анықтау үшін U-Net және терең конволюциялық нейрондық желілерге негізделген біріктірілген моделі ұсынылды [8]. Зерттеуші U-Net-ке назар аудару механизмін (attention mechanism) енгізді, бұл жол жабындарының зақымдануларын сегментациялау мен классификациялау дәлдігін айтарлықтай жақсартты [9].

Авторлар [5] жол жабындарының зақымдануларын анықтау және классификациялау үшін терең оқыту әдістерін дәстүрлі машиналық оқыту алгоритмдерімен біріктіретін жаңа әдісті ұсынды. Олардың жұмысында терең конволюциялық нейрондық желі (Deep Convolutional Neural Network, DCNN) машиналық оқыту әдістерімен бірге қолданылып, зақымдануларды анықтаудың дәлдігі мен жылдамдығын арттыруға мүмкіндік берді.

Жұмыста [10] көпірлер мен жол өтпелеріндегі зақымдануларды анықтау үшін күшейтілген оқыту (reinforcement learning) әдістері мен конволюциялық нейрондық желілерге негізделген жаңа модель әзірленген. Олардың әдістемесі кеңістіктік-уақыттық деректерді біріктірумен қатар көпқабатты нейрондық желіні қамтиды, бұл зақымдану орындарын дәлірек анықтауға және олардың дамуын болжауға мүмкіндік береді.

Зерттелінген жұмыстарда SSD және U-Net модельдерін қолданудың тиімділігі мен шектеулері жан-жақты талданған, алайда оларды практикалық қолданылуын кеңейту жолдары қарастырылмаған. Осыған байланысты, модельдерді практикалық қолдану аясын кеңейтуге бағытталған жұмыстар жүргізілді.

Материалдар мен зерттеу әдістері

Зерттеулерде деректерді жинау үшін жоғары сапалы камераларды, GPS-модульдермен жабдықталған ұшқышсыз ұшу аппараттарды (дрондар) және автомобильдерді пайдалануға болады. Дрондар жол жабынының егжей-тегжейлі аэрофотосуреттерін алу үшін қолданылады, бұл ең кішкентай зақымдануларды анықтауға мүмкіндік береді. Алдын ала белгіленген маршруттар бойынша қозғалатын автомобильдер нақты уақыт режимінде деректерді жинау үшін пайдаланылады. Бұл әртүрлі бұрыштардан және әртүрлі жарық жағдайларында деректерді алуды қамтамасыз етеді.

Модельдерді оқыту және сынау үшін екі негізгі деректер жиынтығы - Crack500 және RDD2020 пайдаланылады. Crack500 әртүрлі жағдайларда алынған жолдағы әртүрлі жарықтардың 500-ден астам суретін қамтиды. RDD2020 - әртүрлі климаттық жағдайларда жиналған жарықтардың, шұңқырлардың, әртүрлі зақымданулары бар жолдардың суреттерін қамтитын кеңірек деректер жиынтығы.

Зерттеу үшін терең оқытудың екі моделі - Single Shot MultiBox Detector (SSD) және U-Net таңдалды. SSD моделі нақты уақыт режимінде объектілерді анықтау үшін қолданылады және жол жабынындағы әртүрлі зақымдануларды тануға бейімделген. Бастапқыда биомедициналық сегментация үшін жасалған U-Net моделі жол зақымдануларын сегментациялау және жіктеу тапсырмалары үшін бейімделген. Зерттеулер Алматы қаласының жолдарында жүргізілді (2-сурет), бұл әртүрлі климаттық және пайдалану жағдайларындағы жол жабынының жағдайы туралы әртүрлі деректерді жинауға мүмкіндік берді.

a)"D40" зақымдану класы Шұңқырлар

b) "D43"зақымдану класы

c) "D00" зақымдану класы: Ашық люктер Жол өткелінің бұлыңғырлығы

2-сурет. Жол зақымдануының түрлері

Суреттен көріп отырғанымыздай, зақымдану түрлері бірнеше санатқа бөлінеді. Біріншіден, зақым жарықтар немесе басқа зақымдар ретінде жіктеледі. Содан кейін жарықтар сызықтық және аллигатор түріндегі жарықтарға бөлінеді. Басқа бұрмалануларға тек шұңқырлар мен ойықтар ғана емес, сонымен қатар ақ сызықтардың бұлыңғырлығы сияқты жолдың басқа да зақымдануы жатады.

Суреттер дрондар мен автомобильдер көмегімен жиналып, кейіннен нормализациялау, масштабтау және деректерді аугментациялау сияқты алдын ала өңдеу кезеңдерінен өтеді. SSD моделі әртүрлі масштабтағы зақымдануларды анықтауға, ал U-Net моделі зақымдануларды пиксель деңгейінде дәл сегментациялауға оқытылды.

Нәтижелер мен талқылау

Модельдердің тиімділігін бағалау дәлдік (accuracy), толықтық (recall), дәлдік (precision) және F1-бағалау (F1-score) сияқты метрикаларды пайдалана отырып, тестілеу деректер жиынтықтарында жүргізілді (1 - кесте).

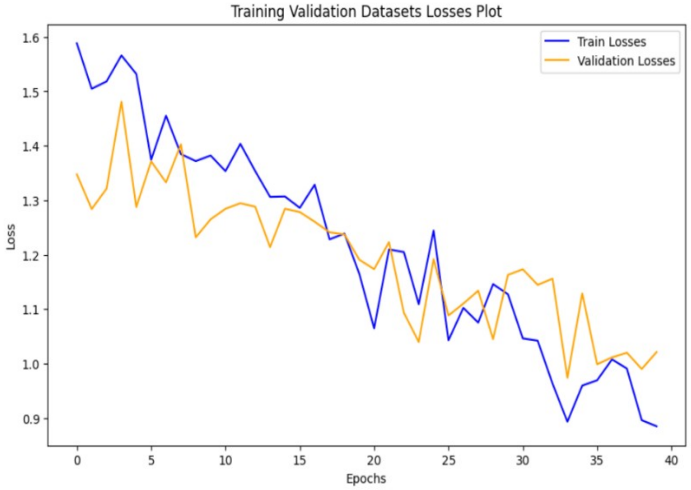
Кесте 1. Модельдердің өнімділігін бағалау метрикалары

Модель	*Дәлдік (Accuracy)*	*Толықтық (Recall)*	*Нақтылық (Precision)*	*F1-ұпай (F1-score)*
U-Net	*0.92*	*0.88*	*0.90*	*0.89*
SSD	*0.95*	*0.91*	*0.93*	*0.92*

Бұл метрикалар модельдің зақымдарды анықтау және классификациялау бойынша тиімділігін кешенді түрде бағалауға мүмкіндік береді.

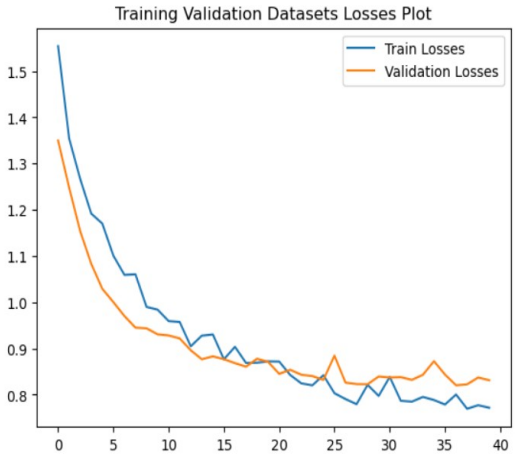
Сондай-ақ, модельдердің жалпы сапасын бағалау үшін орташа дәлдік көрсеткіші (mean average precision, mAP) пайдаланылды. Алынған нәтижелер әрбір модельдің күшті және әлсіз жақтарын, сондай-ақ олардың оңтайлы қолдану салаларын анықтау мақсатында талданды. Модельдердің конфигурациясын жақсарту және жалпы дәлдікті арттыру үшін қателер мен жалған іске қосуды талдауға ерекше назар аударылды.

U-Net моделін оқыту жақсы деңгейде жүріп жатқанын және деректер жиынтықтарында өнімділіктің жақсарғанын графиктен көруге болады (3-сурет).



3-сурет. U-Net моделін оқыту және тексеру шығындары

Графиктегі сызықтар оқыту және тексеру кезіндегі шығындарды білдіреді. Оқыту шығындарының шамамен 0.9-ға дейін төмендеуі модельдің оқыту деректер жиынтығында жақсы үйреніп жатқанын көрсетеді. Тексеру шығындарының шамамен 1.1-ге дейін төмендеуі модельдің тексеру деректер жиынтығында да жоғары өнімділікке қол жеткізгенін дәлелдейді. Бұл модельдің тиімділігі мен дәлдігін бағалауға мүмкіндік береді және оның нақты деректер жиынтықтарында жақсы жұмыс істейтінін көрсетті. 4-суретте SSD модельдің әдісті оқыту және тексеру кезіндегі шығындары көрсетілген.



4-сурет. SSD моделін оқыту және тексеру шығындары

Суреттен көріп отырғанымыздай, оқыту шығындарының шамамен 0.8-ге дейін төмендеуі модельдің жаттығу деректер жиынтығында жақсы үйреніп жатқанын көрсетеді. Тексеру шығындарының да 0.8-ге дейін төмендеуі модельдің тексеру деректер

жиынтығында да жоғары өнімділікке қол жеткізгенін дәлелдейді. Алынған нәтижелер модельдің іс жүзінде минималды қателіктер жіберуі мүмкін дегенді білдіреді.

Бұл әдістер мен материалдар модельдердің жоғары дәлдігін қамтамасыз етуге және жол жабындарының зақымдануларын тиімді анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеудің нәтижелері жол инфрақұрылымының жағдайын бақылау және оны жақсарту бойынша маңызды шешімдер қабылдауға негіз болады.

Қорытынды

SSD моделі үшін орташа дәлдік мәні (mAP) 0.5362 болғанда, U-Net моделі 0.34 mAP көрсетті. Бұл жерде орташа дәлдік мәні (mAP) модельдердің суреттегі объектілерді дұрыс анықтап, олардың орнын дәл табу қабілетін бағалау үшін қолданылды. Жоғары mAP моделі дәлдік пен толықтық тұрғысынан жоғары өнімділікті білдіреді.

Қорытындылай келе, U-Net семантикалық сегментация үшін тиімді модель болғанымен, SSD объектілерді анықтау тапсырмаларына бейімделген, бұл оның жоғары mAP нәтижелерімен дәлелденді. SSD мен U-Net арасындағы таңдау тапсырма талаптарына байланысты: объектілерді анықтау мен нақты уақыттағы өңдеу маңызды болса, SSD қолданған жөн, ал пиксель деңгейіндегі детальды сегментация қажет болғанда U-Net тиімдірек. Бұл салыстыруда SSD моделінің жоғары mAP мәні оны объектілерді анықтауда дәлдік пен толықтықты басым ететін оңтайлы таңдау ретінде көрсетті.

Әдебиеттер

1. Liu, W., Anguelov, D., Erhan, D., Szegedy, C., Reed, S., Fu, C. Y., & Berg, A. C. (2020). Improved SSD: Single Shot MultiBox Detector with Adaptive Detection Mechanisms. European Conference on Computer Vision, 21-37.

2. Maeda, H., Sekimoto, Y., Seto, T., Kashiyama, T., & Omata, H. (2021). Road Damage Detection Using Enhanced Deep Neural Networks with Real-Time Capabilities. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 1801.09454.

3. Li, X., Zhang, Y., Zhang, Z., & Liu, J. (2022). Improved Road Damage Detection Using Attention Mechanisms in SSD. IEEE Access, 7, 113479-113488.

4. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2021). Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 39(6), 1137-1149.

5. Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2023). Combining Deep Learning and Traditional Machine Learning for Road Damage Detection. Neurocomputing, 459, 245-258.

6. Ronneberger, O., Fischer, P., & Brox, T. (2020). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, 234-241.

7. Zhang, L., Yang, F., Zhang, Y. D., & Zhu, Y. J. (2021). Enhanced U-Net for Road Crack Segmentation. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 3708-3712.

8. Cha, Y. J., Choi, W., & Büyüköztürk, O. (2021). Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 32(5), 361-378.

9. Wang, T., Chen, Q., Liu, Y., & Xu, X. (2022). Attention U-Net for Road Damage Detection and Classification. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 22(5), 2743-2754.

10. Sun, K., Yang, J., & Liu, S. (2024). Convolutional Neural Networks and Reinforcement Learning for Bridge Damage Detection. Engineering Structures, 275, 113872.

Самбетбаева А.К.- әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Ақпараттық жүйелер мамандығының докторанты. Зерттеу бағыты: терең оқыту.

МЕКТЕП ЖАСЫНА ДЕЙІНГІ БАЛАЛАРДЫҢ СӨЙЛЕУ КОРПУСЫН ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ ЖИНАУ ЖӘНЕ АУДИОДЕРЕКТЕРДІ ӨҢДЕУ ТӘСІЛ

Д.Р. Рахимова, Ж. Дүйсенбекқызы
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан,
Ақпараттық Және Есептеуіш Технологиялар Институты, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Мақала балалардың сөйлеуі үшін қазақ тіліндегі акустикалық корпустардың жетіспеушілігі мәселесіне арналған және осындай деректерді жинау және өңдеу әдісін ұсынады. Ол үшін 2 жастан 6 жасқа дейінгі балалардың аудиожазбаларын жүйелі түрде жинауды және сақтауды ұйымдастыратын Telegram-бот әзірленді. Ботты пайдалану метадеректермен жазбаларды сақтауға және оларды білім беру материалдарын жасау үшін құрылымдауға мүмкіндік береді. Деректерді өңдеу librosa және torch кітапханасының көмегімен жүзеге асырылады, бұл жазбалардың сапасын жақсартуды және оларды балалардың сөйлеу ерекшеліктерін ескеретін оқу бағдарламаларында қолдануға дайындауды қамтамасыз етеді.*

Кілттік сөздер*: балалардың сөйлеуі, акустикалық корпус, мәліметтерді өңдеу, қазақ тілі, ақпараттық жүйе, машиналық оқыту.*

Кіріспе

Заманауи ақпараттық технологиялар сөйлеуді, әсіресе балалардың жан-жақты дамуына әсер ететін ерекше аспектілерін зерттеуге және талдауға жаңа мүмкіндіктер береді. Бұл процестің негізгі құралдарының бірі-акустикалық корпус-сөйлеуді тану, табиғи тілді өңдеу және сөйлеуді мәтінге айналдыру жүйелерін әзірлеу тапсырмаларында қолданылатын аудио және мәтіндік транскрипциялардың арнайы жиынтығы [1]. Акустикалық корпустар маңызды тілдік ресурстар ретінде қызмет етеді және лингвистикалық зерттеулерде қолданылады. Алайда, қазақ тілі үшін мұндай ресурстар әсіресе балалар сөйлеуі саласында сирек кездеседі, бұл қазақ балалар сөйлеуінің деректерін жинау және өңдеу үшін жүйені әзірлеудің өзектілігін көрсетеді. Мұндай жүйені құру ғылыми зерттеулерге айтарлықтай үлес қосады және балалардың сөйлеуін зерттеу және қолдау үшін қажетті ресурстарды қамтамасыз етеді. Қазақ тіліндегі балалар аудиожазбалары негізінде құрылған Корпус екі негізгі функцияны орындайды: балалар сөйлеуін тану және мәтінді сөйлеуге айналдыру.

Балалардың сөйлеуін тану технологияларын қолдану бірнеше негізгі бағыттарды қамтиды, олардың әрқайсысы балалардың сөйлеу және танымдық дағдыларын қолдауға және дамытуға бағытталған. Біріншіден, интерактивті оқыту қолданбалары мен ойындары оқу, жазу және сөйлеу дағдыларын жақсарту үшін қолайлы орта жасайды, бұл дауыстық өзара әрекеттесу арқылы оқуды табиғи және қызықты етеді. Командаларды тануға қабілетті дауыстық көмекшілер ерекше білім беру қажеттіліктері бар балаларға қолдау көрсетеді, күнделікті тапсырмаларды орындауға және меңгеруге көмектеседі. Сөйлеу бұзылыстарын диагностикалау үшін проблемаларды ерте анықтауды, сөйлеу дағдыларын бақылауды және логопедиялық бағдарламаларды әзірлеуді қамтамасыз ететін жүйелер құрылады. Сонымен қатар, оқу материалдарындағы дауыстық технологиялар білім беру процесін белсендіреді және балаларды оқуға ынталандырады. Төмендегі 1-кесте балалардың сөйлеуін тану технологияларын қолданудың негізгі бағыттарын ұсынады. Бұл тәсілдердің әрқайсысы балалардың сөйлеу және когнитивтік дағдыларының әртүрлі аспектілерін қолдауға және оқу және жазу дағдыларын жетілдіруден бастап, ерекше қажеттіліктері бар балаларға диагностикалық және қолдау құралдарын құруға дейін дамытуға бағытталған.

Кесте 1. Балалардың сөйлеуін тану технологияларын практикалық қолданудың негізгі бағыттары.

Бағыт	Сипаттама
Оқыту қосымшалары мен ойындары	Дауыстық мүмкіндіктері бар интерактивті және ойын тәсілдері арқылы оқу, жазу және сөйлеу дағдыларын дамыту.
Дауыстық көмекшілер	Дыбыстық командаларды тану арқылы ерекше қажеттіліктері бар балаларды оқыту мен тапсырмаларды орындауға қолдау көрсету.
Сөйлеу бұзылыстарын диагностикалау	Сөйлеу бұзылыстарын ерте анықтау және диагностикалау, дағдыларды бақылау және логопедиялық бағдарламаларды әзірлеу жүйелері.
Интерактивті оқыту	Балалардың оқу процесі мен мотивациясын белсендіретін оқу материалдарын жасау үшін Дауыстық технологияларды пайдалану.

Кестедегі деректерді талдай отырып, балалардың сөйлеуін тану технологиялары білім беру сапасын жақсартуға және балаларды, әсіресе оқуда қиындықтарға тап болғандарды немесе сөйлеу қабілетінің бұзылуын қолдауға жаңа мүмкіндіктер ашады деген қорытынды жасауға болады. Сонымен қатар, қазақ тілінде балалар сөйлеуінің акустикалық корпустарын құру қазақ тілінің лингвистикалық ерекшеліктерін зерттеу үшін перспективалар ашады, олар нейрондық желілерді оқытуда және қазақ тіліне арналған сөйлеуді автоматты тану жүйесін (ASR) әзірлеуде пайдалы болады.

1. Қазақ тілді балаларға бағытталған сөйлеуді тану технологияларына салыстырмалы шолу

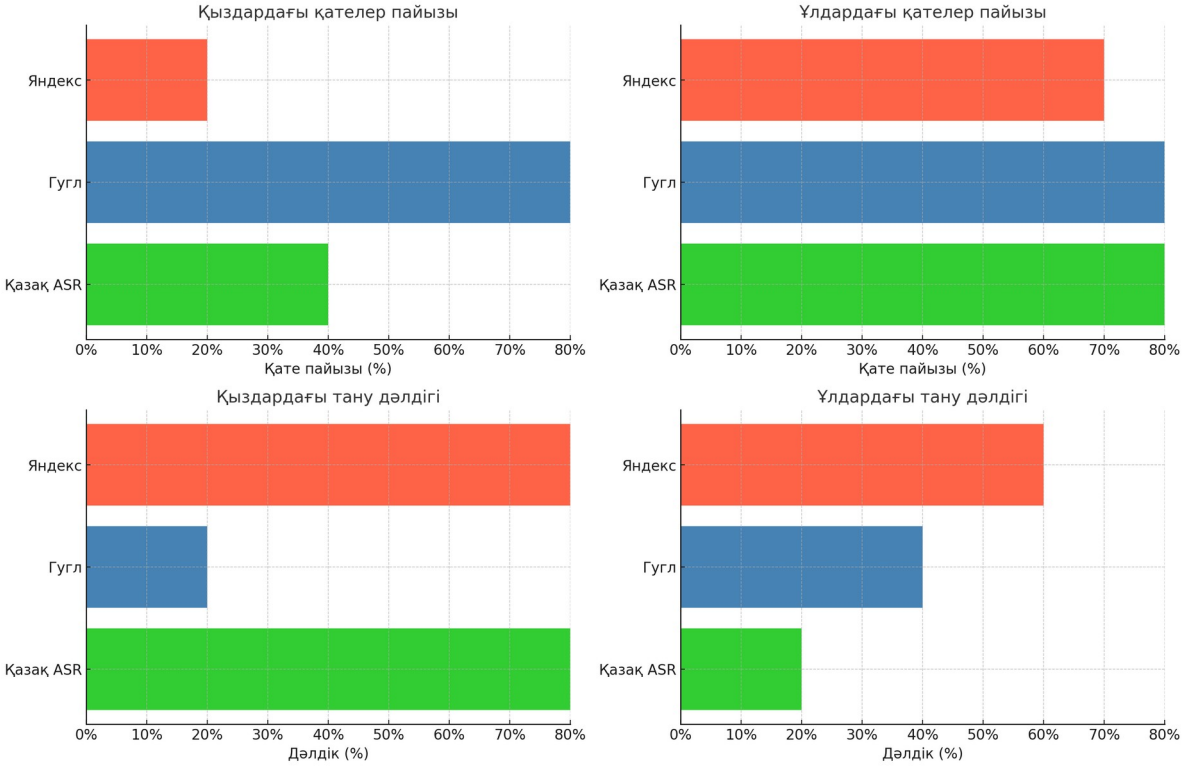
Қазақ тілінде сөйлеуді танудың бірнеше жүйесінің қолжетімділігін ескере отырып, олардың балалар сөйлеуімен өзара іс-қимыл жасаудағы тиімділігін бағалау өзекті болып көрінеді, өйткені олардың көпшілігі негізінен ересек аудиторияға бағытталған. Осы зерттеу шеңберінде танымал жүйелер, соның ішінде Google іздеу жолына дауыстық енгізу [2], Яндекс дауыстық көмекшісі [3] және дауыстық хабарламаларды мәтінге түрлендіруді орындайтын "Kazakh ASR" Telegram-боты [4] сыналды. Сондай-ақ, iOS платформасында Siri дауыстық көмекшісін [5] тарту жоспарланған болатын, алайда эксперимент барысында бұл жүйе қазақ тілін қолдамайтыны анықталды, бұл оның зерттеуде қолданылуын шектеді. Эксперимент екі баланың қатысуымен жүргізілді: бес жасар қыз және үш жасар ұл, олар қазақ тілінде сөйлейді. Барлық тексерілген жүйелер үшін бірдей сұраныстар қолданылды, бұл олардың дәлдігі мен баланың сөйлеуін танудағы тиімділігін стандартталған салыстыруға мүмкіндік берді. Үш жүйенің жұмыс нәтижелері 2-кестеде келтірілген.

Кесте 2. Google, Яндекс және Kazakh ASR тану жүйелерін пайдалана отырып, балалардың қазақша сөйлеуін тану нәтижелері.

Сөйлемнің түпнұсқасы	Яндекс Ұл бала, 3 жас	Яндекс Қыз бала, 5 жас	Google Ұл бала, 3 жас	Google Қыз бала 5 жас	Kazakh ASR Ұл бала, 3 жас	Kazakh ASR Қыз бала, 5 жас
Жабайы жануарлар зоосаябақты ұнатпайды	Забайы зануарлар зобакты унатпайды	Жабайы жануарлар зоосаябақты ұнатпайды	Сабай сануар зоосаяқта ұнатпайт	Жабайы жануарлар зоопарк ұнатпайды	Жабай жануар зоосаяқты ұнатпайды	Жабайы жануарлар зооссиябақты уатпайды
Жазда барлық көкөністер піседі	Жажда барлық көкөністер	Жазда барлық көкөністер піседі	Зазда балық көкөніштер пішед	Жазда барлық көкөністер	Жазда көкөніс піседі	Жазда барлық көкөністер іседі

	ішеді			піскен		
Қызыл Алма ағашта өсіп тұр	Қызыл алма ағаш өсіп тұр	Қызыл алма ағашта өсіп тур	Қыжыл алма ағашта өшіп тұр	Қызыл алма ағашта өсп тұр	Кызыл алма ағашта тұр	Қызыл алма ағашта тұр

Жынысы мен қызметіне қарай сөйлеуді тану өнімділігі 1-



сурет. Google, Яндекс және Kazakh ASR жүйелері бойынша балалардың сөйлеуін танудағы грамматикалық, синтаксистік және лексикалық қателіктерді талдау.

Кестедегі деректерді мен сызбадағы нәтижелерді талдай отырып, қыздың сөйлеуді танудың орташа дәлдігі 60% құрайды, бұл кіші баладан шамамен 3 есе жоғары, бұл көрсеткіш тек 20% жетеді. Үздік нәтижелерді "Kazakh ASR" Telegram-боты және Яндекс дауыстық көмекшісі көрсетті. "Kazakh ASR" Telegram-боты қыздың 3 ұсынысының 2-ін 80% дәлдікпен танып, бір ғана лексикалық және синтаксистік қателік жіберді. Сонымен қатар, кіші балада тану дәлдігі тек 20% құрады, өйткені жүйе 3 сөйлемнің 2-і бірнеше грамматикалық, лексикалық және синтаксистік қателіктер жіберді.

Google Assistant жүйесі екі бала үшін де тану дәлдігі бойынша (20%) ұқсас нәтижелер көрсетті, дегенмен қате түрлері әртүрлі болды: қыз жазбаларында лексикалық қателер болған жоқ, ал ұл жазбаларында грамматикалық дәлсіздіктер болмады. Бұл айырмашылықтар қазақ тіліндегі балалар сөйлеуінің жас және лексикалық ерекшеліктерін ескеру үшін сөйлеуді тану жүйесін одан әрі жетілдіру қажеттігін көрсетеді. Эксперимент нәтижелері бірнеше қорытынды жасауға мүмкіндік береді:

1. Баланың жасын ұлғайту тану дәлдігіне оң әсер етеді: қазақ тілін меңгерген егде жастағы балалар айқынырақ және түсінікті сөйлеуді көрсетеді, бұл тану жүйелерінің жұмысын жеңілдетеді.

2. Google Assistant жүйесі қазақ балаларының, әсіресе жас топтардың сөйлеуін танудың төмен дәлдігін көрсетті, бұл оның қазақ балаларының сөйлеу ерекшеліктеріне әлсіз бейімделуін көрсетеді.

3. Тану үшін қолданылатын белгілі көп тілді жүйелер қазақ тілінде балалардың сөйлеуін өңдеу қабілетінің шектеулі екендігін көрсетті. Осылайша, мектепке дейінгі және бастауыш мектеп жасындағы балаларға бағытталған тиімді технологияларды әзірлеу өзекті міндет болып отыр.

Акустикалық корпустардың маңыздылығына және олардың басқа тілдерде таралуына қарамастан, қазақ тілінде сапалы балалар корпусының жетіспеушілігі байқалады. Бұл балалардың сөйлеуін танудағы бар проблемалармен ұштастыра отырып, көп тілді жүйелерде балалардың қазақ тілін тиімді түсіну үшін мамандандырылған ресурстар құру және технологияларды жетілдіру қажеттігін атап көрсетеді.

2. Қазақ тіліндегі балалар акустикалық корпусын жинау және өңдеу тәсілдері

Қазақ тілінде акустикалық корпусты құру және өңдеу жүйесін әзірлеу жөніндегі біздің жоба шеңберінде мынадай кезеңдер орындалды:

1. Қолданыстағы сөйлеу корпустарына талдау жасалды, сондай-ақ оларды қалыптастыру үшін қолданылатын деректерді жинау және өңдеу технологиялары зерттелді. Бұл зерттеу Тиімді тілдік ресурстарды құрудың ең жақсы тәжірибелері мен техникалық тәсілдерін анықтады.

2. Телеграм бот және қолмен жинау арқылы аудио деректерді жинау жүзеге асырылды , бұл оператордың сөйлеуді жазу процесіне тікелей қатысуын білдіреді. Бұл әдіс өзінің еңбек сыйымдылығына қарамастан, жазбалардың жоғары сапасын қамтамасыз етеді және көбінесе сапалы акустикалық корпустарды құру үшін қажетті сөйлеу деректерін жинау үшін, сондай-ақ сөйлеуді тану жүйелерін оқыту және лингвистикалық зерттеулер жүргізу үшін зерттеу мақсатында қолданылады.

3. Барлық аудио файлдарды бірыңғай форматқа (wav) келтіруді, жазудың тазалығын арттыру үшін фондық шуды азайтуды, артық тыныштық аймақтарын азайтуды және біркелкі және қабылдауға ыңғайлы дыбыстық материал жасау үшін дыбыс деңгейін қалыпқа келтіруді қамтитын деректерді өңдеу жүргізілді. 2-суретте аудио деректерді қолмен жинау және телеграм бот арқылы жинау процесі көрсетілген, оған қатысушыларды таңдау, жазу жабдықтарын дайындау және әр жазбаның сапасын бақылау сияқты бірнеше негізгі қадамдар кіреді.

2-сурет. Аудио мәліметтерді қолмен жинау үдерісі

Акустикалық корпусты өңдеудің сапасы мен тиімділігін талдауды әрі қарай тереңдету үшін бірнеше қосымша формулалар мен модельдерді қолданылды. Олар сөйлеу сигналдарын талдауда, деректерді өңдеуде және тану жүйелерінің өнімділігін бағалауда маңызды рөл атқарады.:

1) **Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)** [6], шынайы және қайта өңделген сигнал арасындағы айырмашылықты бағалауда қолданылатын өлшем. PSNR мәні жоғары болған сайын, сапа жақсара түседі.

$$PSNR = 20log_{10}\frac{MAX}{\sqrt{MSE}} \quad (1),$$

мұндағы MAX — сигналдың максималды мәні (мысалы, 16-биттік аудиода ол 65535 болады). PSNR децибелмен (дБ) көрсетіледі.

2) **Спектрлік азайту [7]** - ұл әдіс сигнал спектріндегі шу қуатын бағалап, оны шулы сигнал спектрінен алып тастауға бағытталған шуды азайтудың негізгі тәсілі болып табылады. Математикалық тұрғыдан алғанда, бұл үдерісті келесідей көрсетуге болады:

$$Y(x) = \mathrm{Z(x)} - \lambda \cdot \mathrm{N(x)} \quad (2),$$

мұндағы $Z(x)$ - шулы сигнал спектрі, $N(x)$ - шу спектрін бағалау, $Y(x)$ - шу жойылғаннан кейінгі сигнал спектрі, ал λ - шудың қаншалықты азаятынын анықтайтын коэффициент.

3) **Root Mean Square Error (RMSE)[8]**

RMSE — MSE-нің квадрат түбірі. Ол қателіктерді тікелей салыстыру үшін жиі қолданылады, әсіресе сөйлеу сигналдарын өңдеуде және тану жүйелерінің шығуларын бағалауда.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n\sum_{i=0}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}} \quad (3)$$

4) **Precision, Recall, және F1-Score [9]** Сөйлеу тану жүйесінің өнімділігін бағалау үшін Precision, Recall, және F1-Score көрсеткіштері де маңызды. Олар модельдің оң болжамдарын дұрыс анықтау қабілетін көрсетеді.

- **Precision (дәлдік)**: Барлық оң болжамдар ішінде нақты дұрыс болжамдардың үлесін көрсетеді.

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \quad (4)$$

Recall (сезімталдық): Барлық шынайы оң мәндер ішінде модельдің дұрыс болжаған оң мәндерінің үлесін көрсетеді.

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \quad (5)$$

F1-Score: Precision мен Recall арасындағы теңгерімді көрсетеді.

$$F1 = 2 * \frac{Precision \cdot Recall}{Precision + Recall} \quad (6)$$

мұндағы:

TP (True Positives) — шынайы оң нәтижелер, модель оң сыныпты дұрыс болжайтын жағдайлар саны.

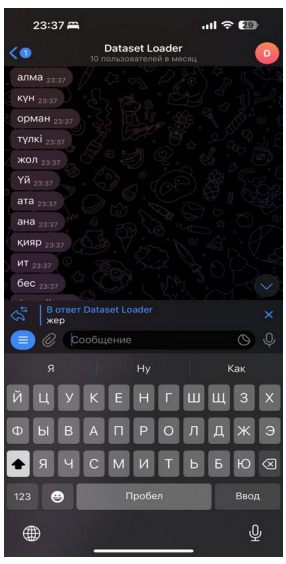
TN (True Negatives) — шынайы теріс нәтижелер, модель теріс класты дұрыс болжайтын жағдайлар саны.

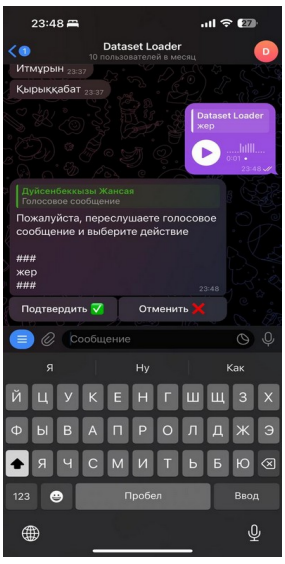
FP (False Positives) — жалған оң нәтижелер, модель оң сыныпты дұрыс болжам жасамайтын жағдайлар саны.

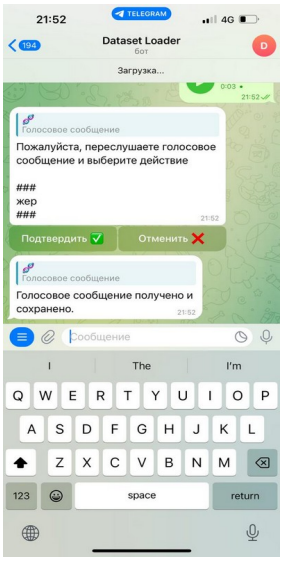
FN (False Negatives) — жалған теріс нәтижелер, модель теріс класты дұрыс болжам жасамайтын жағдайлар саны.

3. Практикалық нәтижелер

Аудио деректерді жинау үшін екі негізгі әдіс қолданылды: біріншісі — табиғи ортада деректерді жазу, ал екіншісі — балалар дауыстарын қамтитын қажетті аудио үзінділерді алу үшін бейне платформалардан отандық фильмдер мен мультфильмдерден аудио деректерді кесу. Табиғи ортада жазылатын материалдарды дайындау барысында балалардың көп қолданатын тақырыптарына негізделдік: жемістер, көкөністер, жануарлар және отбасы. Осы тақырыптарға сәйкес 90 сөз таңдалып, олардан сөз тіркестері мен сөйлемдер құрастырылды. Әрбір сөз, сөз тіркесі және сөйлем телефондағы диктофон арқылы жеке аудио жазбалар ретінде жазылды. Екінші әдіс — мультфильмдер мен фильмдерден деректерді бейне платформалар арқылы жинау, бірақ бұл әдісті қолдану кезінде бірқатар қиындықтар туындады. Балалардың сөйлеуі басым болатын қазақ тіліндегі мультфильмдер мен фильмдердің жетіспеушілігі айқындалды, өйткені көбінде дауысты жоғары деңгейде ересектер шығарады. Сонымен қатар, көптеген фильмдерде фондық музыка негізгі мәтіннен қаттырақ болып, репликаларды бөліп алуды қиындатты және аудиожазбалардың сапасына кері әсерін тигізді. Үшінші тәсіл - Telegram-да Bot көмегімен аудиожазбаларды жинау нақты құрылымдалған процесс бойынша ұйымдастырылды. Алдын ала дайындалған жазу сөздері мен сөз тіркестерінің тізімі ботқа жүктелді және деректерді үнемі жаңартып отыру үшін апта сайын жаңа сөздер қосылды. Пайдаланушылар ботқа қосылып, нұсқаулар алады және сөздерді немесе сөз тіркестерін жазуды сұрайды. Микрофон түймесін басып тұрып, олар әр сөзді жазып алады және метадеректермен (тақырып, ағымдағы санат) жазбаны автоматты түрде сақтайтын бот аудио файлын жібереді. Бот жазу сапасын тексереді және қажет болған жағдайда екі рет жазады. Бұл тәсіл аудио деректерді тақырыптар мен уақыттар бойынша тиімді жинауға және құрылымдауға мүмкіндік береді, оларды оқу материалдарында тереңірек қолдануға мүмкіндік береді. Төменде Telegram-дағы Bot жұмысының әр кезеңінің толық сипаттамасы берілген.







3-сурет. Аудио деректерді телеграм бот арқылы жинау процесі

Дегенмен, балалар дауыстарының аудиожазбалары қазақстандық фильмдерден жинақталды [10-14]. Бұл үдеріс келесідей жүзеге асырылды: фильмдер YouTube платформасынан mp3 форматында жүктеліп, тек аудио тректі бөліп алу үшін Savefrom.net [15] қолданылды. Кейіннен аудио Clideo [16] қызметі арқылы жүктеліп, қажет бөліктері кесіліп, wav форматында сақталды. Осы әдіс арқылы жалпы көлемі 15 минуттық балалардың аудиожазбалары жинақталды. Барлық жазылған аудио деректерді тиімді және сапалы өңдеу мақсатында VSDC түрлендіргіші [17] пайдаланылып, барлық файлдар wav форматына келтірілді, себебі бұл сығымдалмаған формат дыбыс сапасын сақтауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, фондық шуды азайту, артық тыныштықты жою және дыбыс деңгейін реттеу үшін PyCharm даму ортасында [18] Python тілінде [19] librosa [20] және torch [21] кітапханаларын пайдаланып сценарий жазылды. Бұл сценарий каталогтағы файлдарды цикл арқылы өңдеп, нәтижелерін басқа каталогқа сақтайды.

4. Қорытынды

Қатты және газ тәріздес орталар арасындағы жылу алмасудың физикалық үрдістері арқылы осы үрдістің динамикасын сипаттайтын агломерация үрдісінің көптеген математикалық модельдері бар. Модельдеу әртүрлі физикалық үрдістердің дайын кітапханаларын қамтамасыз ететін, үрдістің геометриясын дәл анықтауға және әртүрлі шешу әдістерін қолдана отырып, ішінара дифференциалдық теңдеулерді есептеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін COMSOL Multiphysics бағдарламалық құралын пайдалану арқылы орындалды. COMSOL Multiphysics орнатудың қарапайымдылығы, бастапқы теңдеулерді өзгерту және шешім әдісін таңдау мүмкіндігі және 3D модельдеу мүмкіндіктері модель жасау уақытын қысқартуға және зерттеу және инженерлік мақсаттар үшін дәл нәтижелерді алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, бұл модель зарядтағы вакуум, заряд биіктігінің өзгеруі, паллет жылдамдығы, шихтадағы кокс мөлшері мен фосфорит концентрациясы, ошақ астындағы тұтану температурасы сияқты кіріс үрдісінің айнымалыларын өзгерту бойынша эксперименттер жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл тәжірибелер нақты зауыт сынақтарын жүргізуге қажетті уақыт пен ресурстарды азайтады.

Әдебиеттер тізімі

1. Кривнова, О. Ф., Захаров, Л. М., Строкин, Г. С. Сөйлеу корпустары: даму тәжірибесі және қолданылуы / О. Ф. Кривнова, Л. М. Захаров, Г. С. Строкин. – Мәскеу: ММУ, 2001.
2. Дауыстық енгізу іздеу жүйесі. – URL: https://www.google.ru/?hl=ru (жүгінген күні:15.16.2024).
3. Яндекс дауыстық көмекшісі. – URL: https://alice.yandex.ru/ (жүгінген күні:12.17.2024).
4. Kadyrbek, N., Mansurova, M., Shomanov, A., Makharova, G. The Development of a Kazakh Speech Recognition Model Using a Convolutional Neural Network with Fixed Character Level Filters / N. Kadyrbek, M. Mansurova, A. Shomanov, G. Makharova. – Big Data Cogn. Comput., 2023. – Vol. 7, N. 3. – P. 132.
5. Siri жеке дауыстық көмекшісі. – URL: https://www.apple.com/siri/ (жүгінген күні:15.10.2024).
6. Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R., Simoncelli, E. P. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity / Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, E. P. Simoncelli // IEEE Transactions on Image Processing. – New York: IEEE, 2004. – Vol. 13, N. 4. – P. 600-612.
7. Дыбысты зерттеу: шуды жою. – URL: https://habr.com/ru/articles/793608/ (жүгінген күні:25.08.2024).
8. Hyndman, R. J., Koehler, A. B. Another look at measures of forecast accuracy / R. J. Hyndman, A. B. Koehler // International Journal of Forecasting. – Amsterdam: Elsevier, 2006. – Vol. 22, N. 4. – P. 679-688.

9. Manning, C. D., Raghavan, P., Schütze, H. Introduction to Information Retrieval / C. D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze. – Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 569 p.
10. "Off-line демалысы" фильмі. – URL: https://www.kinopoisk.ru/film/1249531/ (жүгінген күні:10.10.2023).
11. «Каникулы off-line 2» фильмі. – URL: https://www.kinopoisk.ru/film/1338062/ (жүгінген күні:15.10.2023).
12. «Каникулы off-line 3» фильмі. – URL: https://www.kinopoisk.ru/film/5265663/ (жүгінген күні:15.01.2024).
13. «Джохан» фильмі. – URL: https://www.kinopoisk.ru/film/5042141/ (жүгінген күні:15.01.2024).
14. «Күншіктер» Мультфильмі. – URL: https://www.kinopoisk.ru/series/5426249/ (жүгінген күні:15.01.2024).
15. Savefrom.net сервисі. – URL: https://ru.savefrom.net/1-%D0%B1%D1%8B%D1%81%D1%82%D1%80%D1%8B%D0%B9-%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1-%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%82%D1%8C-%D1%81-youtube-165lr/ (жүгінген күні:15.10.2024).
16. Clideo сервисі. – URL: https://clideo.com/ru/cut-audio (жүгінген күні:15.10.2024).
17. VSDC Тегін Аудио Түрлендіргіші. – URL: https://www.videosoftdev.com/ru/free-audio-converter (жүгінген күні:15.10.2024).
18. PyCharm даму ортасы. – URL: https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/ (жүгінген күні:15.02.2024).
19. Python бағдарламалау тілі. – URL: https://www.python.org/ (жүгінген күні:15.02.2024).
20. Librosa дыбыс өңдеу кітапханасы. – URL: https://librosa.org/doc/latest/index.html (жүгінген күні:15.02.2024).
21. Torch нейрондық желілерді өңдеу кітапханасы. – URL: https://pytorch.org/docs/stable/library.html (жүгінген күні:15.02.2024)

Рахимова Диана Рамазановна – PhD, старший преподаватель. Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050000, Алматы;

Дүйсенбеккызы Жансая – магистр, старший преподаватель. Казахский национальный университет им. аль-Фараби; 050000, Алматы; email: 1695507zh@gmail.com

ОРГАНИКАЛЫҚ КАЛДЫҚТАРДЫҢ АНАЭРОБТЫ БІРЛЕСКЕН ЫДЫРАУЫНДАҒЫ БИОГАЗ ПОТЕНЦИАЛЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ҮШІН МАШИНКАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН RESPONSE SURFACE ӘДІСТЕМЕСІНЕ КЕШЕНДІ ТӘСІЛ

Жұмабаева А.Қ. Иманбек Б.Т.
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Қазақстан

Аңдатпа. *Жаңартылатын энергияға деген сұраныстың артуы тұрақты және тиімді шешім ретінде биогаз өндірісіндегі зерттеулер мен әзірлемелерді ынталандырды. Осы зерттеудің мақсаты бірлескен ашытуды пайдалана отырып, анаэробты реакторда биогаз өндірісін болжау және оңтайландыру болып табылады. Сонымен қатар, эксперименттік деректерді қолдана отырып, ML-ге негізделген болжамды модель жасау үшін үш түрлі градиентті күшейту алгоритмдері қолданылды: AdaBoost, Light Gradient Boosting Machine және Extreme Gradient Boosting.*

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеуде тамақ қалдықтары (ТҚ) мен сиыр көңінің (СК) анаэробты бірлескен қорытылуы субстрат ретінде пайдаланылды. Биологиялық

ыдырау қабілеті жоғары және биогаз өндіру әлеуеті бар тағам қалдықтары анаэробты ашыту үшін тамаша шикізат ретінде қызмет етті. Тамақ қалдықтарының орташа құрамына жалпы қатты заттарға (VS/TS) қатысты 69-93% ылғал, 85-96% ұшпа заттар және 14,6-дан 18,0-ге дейінгі диапазондағы көміртегі мен азоттың (c/N) қатынасы кірді [1]. Урбанизацияға байланысты артық және болжанбайтын тамақ қалдықтарының өсіп келе жатқан проблемасын ескере отырып, биогаз алу үшін бақыланатын микробиологиялық ыдырау үшін осы органикалық бай қалдықтарды пайдалану экологиялық тұрғыдан да, экономикалық тұрғыдан да тиімді. Сонымен қатар, қоректік заттарды талдау тамақ қалдықтарында анаэробты микроорганизмдерге жарамды қоректік заттардың теңдестірілген құрамы бар екенін көрсетті, бұл оларды биогаз өндіру үшін тамаша субстрат етеді [2]. Технологиялық процесті әзірлеу кезінде эксперименттерді жоспарлау әдістемесін дұрыс пайдалану арқылы өндіріс шығындарын азайтуға және қымбат уақытты үнемдеуге болады. RSM көптеген тәуелсіз кіріс параметрлерінің әсерінен реакцияны оңтайландыруға бағытталған практикалық модельдерді құру үшін қолданылатын статистикалық әдістер жиынтығын қамтиды [3]. RSM тәсілдері кедергі келтіретін факторлардың әсерін тиімді төмендетеді, бұл процестің оңтайлы параметрлеріне жақындауға әкеледі. RSM-дегі бірінші қадам-модель параметрлерінің сенімді бағалауы ретінде қызмет ететін нақты корреляцияларды орнату [4,5].

Кейіннен квадраттық көпмүшені қолданатын прагматикалық модель қолданылды және эксперименттік деректер Central Composite Design (CCD) тәсіліне сәйкес design-Expert бағдарламалық жасақтамасын қолдану арқылы жасалды. Бұл зерттеуде ең төменгі (-2), Орталық (0) және ең жоғары (+2) деңгейлері бар бес балдық шкала қолданылды, әр айнымалыға белгілі бір деңгей тағайындалды. Бұл эксперимент алты орталық нүктесі бар отыз сынақты қарастырды. Эксперимент барысында жиналған мәліметтер биогаздың шығуына айтарлықтай әсер ететін факторларды анықтау үшін статистикалық бағдарламалық жасақтаманы қолдану арқылы талданды. Биогаздың оңтайлы өндірісіне қол жеткізу үшін төрт кіріс параметрлерінің, соның ішінде қатты заттардың концентрациясы, pH, температура және бірлескен бөлінудің эксперименттік әсері зерттелді, содан кейін орындылығы оңтайландырылды Эксперимент нәтижелерін пайдалана отырып, биогаздың максималды шығымдылығын алудың оңтайлы шарттары анықталды. RSM сандық оңтайландыру функциясының көмегімен анаэробты бірлескен ашыту кезінде биогаз алу үшін оңтайлы параметрлер модельденіп, анықталды. Осы зерттеудің мақсаты анаэробты бірлескен ыдырау нәтижесінде биогаз өндірісін болжау. Осы мақсатқа жету үшін градиентті арттыратын машиналық оқытудың (МО) үш түрлі әдісі қолданылады: Ada Boost (ada), Light Gradient Boost Machine (LightGBM) және Extreme Gradient Boosting (XGB). Осы талдауда пайдаланылған деректер жиынтығы оқыту және сынақ жиынтықтарына бөлінді, бұл енгізілген МО әдістерінің тиімділігін бағалаудағы маңызды қадам. Модельдеу процесі талдауға жан-жақты және сенімді тәсілді қамтамасыз ететін бес негізгі кезеңнен тұрды. 1 кезең: деректерді жинау және сипаттау, 2 кезең: деректерді дайындау, 3 кезең: сипаттамаларды таңдау, 4 кезең: ML модельдеу және салыстыру, 5 кезең: тиімділікті бағалау және модельдерді тексеру. AdaBoost регрессия алгоритмі итеративті тәсілге негізделген. Әрбір итерацияда алгоритм қате болжанған бақылауларды анықтайды және оларға жоғары салмақ береді, олардың кейінгі итерациялардағы маңыздылығын көрсетеді [6]. Бұл итеративті процесс алгоритм сенімді жіктеу өнімділігіне жеткенше жалғасады. Ал, LightGBM жарамдылығы оның жылдам оқыту, жұмыс тиімділігі, жадты минималды пайдалану, жылдам өңдеу, арифметиканы меңгеру, ICU пайдалану, дәлдік, параллелизм және маңызды деректер жиынтығын минималды кідіріспен өңдеу сияқты артықшылықтарымен ерекшеленеді [7]. Осы артықшылықтарды ескере отырып, lightgbm биогаздың шығуын болжау үшін ақылды таңдау болып табылады. XGBoost-тің

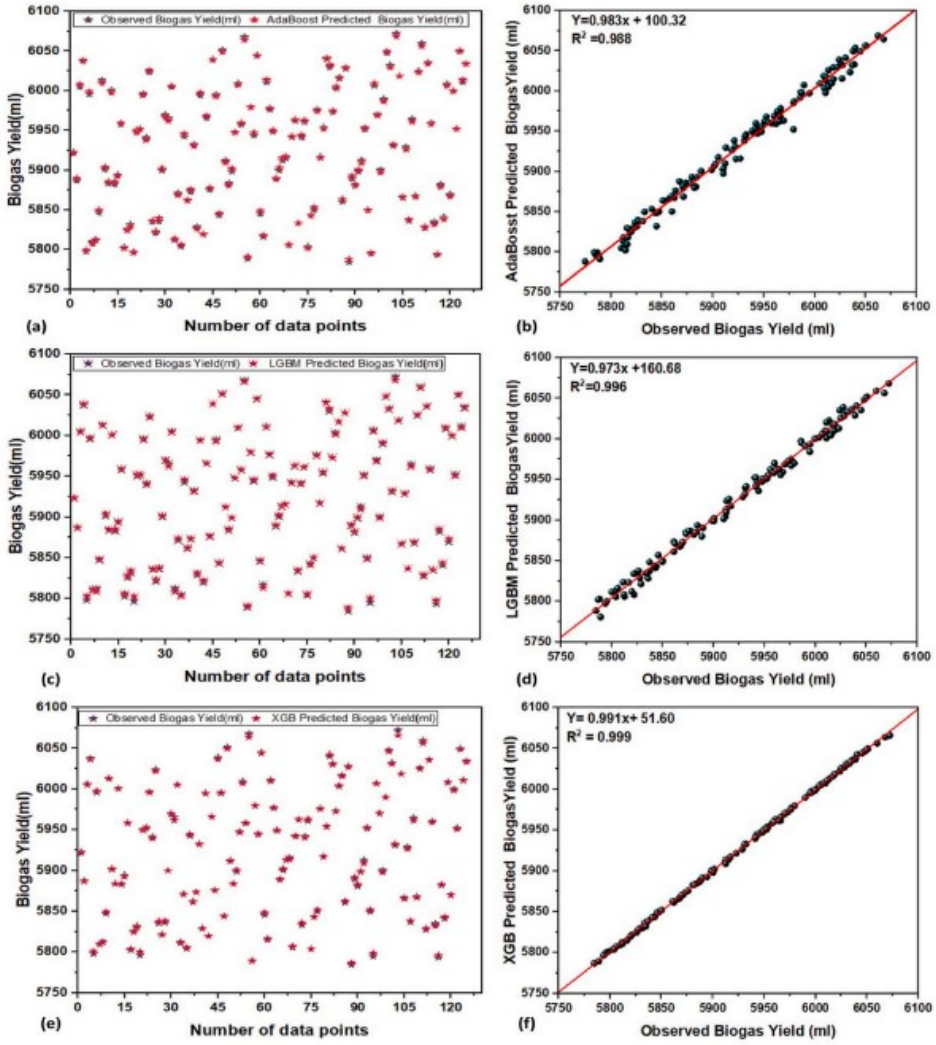
айрықша ерекшелігі-берілген мәліметтер жиынтығына негізделген регрессия және жіктеу әдістерін қолдана отырып, қуатты болжау модельдерін құру мүмкіндігі. Ол көптеген айнымалылар мен классификацияларды қамтитын кең деректер жиынтығын басқара алады, бұл оны Деректерді талдаудың құнды құралы етеді.

МО моделін бағалау кезінде бұл зерттеу үздіксіз атрибуттарды бағалау үшін арнайы әзірленген үш бағалау көрсеткішін пайдаланды: R2, RMSE және MAE. R2 немесе анықтау коэффициенті болжам дәлдігінің көрсеткіші ретінде қызмет етеді. R2 үшін 1-ге жақын мән болжам дәлдігінің жоғары деңгейін білдіреді. Үздіксіз тәуелді параметрлері бар модельдердің тиімділігін бағалау үшін танымал rmse және MAE көрсеткіштері қолданылды. Бұл көрсеткіштер болжамдардағы ықтимал қателіктерді ескере отырып, дәлдікті жан-жақты бағалауды қамтамасыз етеді. Сынақ деректер жиынтығында оқытылған модельдерді бағалау үшін осы көрсеткіштер есептеліп, талданды. Әрбір көрсеткіш модельдердің өнімділігі туралы құнды ақпарат береді, бұл олардың болжамды мүмкіндіктерін мұқият бағалауға мүмкіндік береді [8].

Модельдердің өнімділігін бағалау кезінде оның тиімділігі мен дәйектілігіне байланысты валидацияны жүргізу үшін көп деңгейлі k-еселік кросс-валидация қолданылды. Әрбір деректер жиынтығы кездейсоқ түрде k топтарына бөлінді, мұнда k - 1 топтары модельдерді оқыту үшін, ал қалған бөлігі тестілеу үшін пайдаланылды. Модельдер K = 1-ден басталып, K = 10-ға дейін стратификацияланған k-еселік кросс-тексеруді қолдана отырып итеративті түрде бағаланды. Стратификацияланған 10x кросс-тексеру модельдің жарамдылығы мен модель жасаушылардың құзыреттілігін бағалаудың кең таралған әдісі болып табылады. Бағалау процесі үш алгоритмнің әрқайсысы үшін k-еселік кросс-тексеруді орындауды қамтыды. Осы итеративті бағалау барысында модельдердің өнімділігі әртүрлі бағалау көрсеткіштерін қолдана отырып бағаланды және салыстырылды. 10 есе кросс-тексеруден алынған нәтижелер үш алгоритмнің әрқайсысы үшін ең жақсы өнімділікті көрсетті.

Нәтижелер және талқылау. Болжау процесін бастау үшін ең маңызды айнымалылар мен қатынастарды анықтау қажет. Сонымен қатар, модельдердің тиімділігін жан-жақты бағалауымыз керек. Бұл бағалаудың мақсаты болжау дәлдігін тексеру және объективті салыстыруға мүмкіндік беретін әртүрлі k-еселік кросс-тексерулердегі үш алгоритмнің өнімділігін салыстыру болып табылады. Корреляциялық талдау үздіксіз айнымалылар немесе бірнеше айнымалылар мен тәуелді айнымалылар арасындағы сызықтық қатынастың болуын бағалау үшін қолданылады. Бұл зерттеуде Кендаллдың дәрежелік корреляциялық талдауы жүргізілді, талдау процестің параметрлері арасындағы шамалы корреляцияны анықтады, бұл мультиколлинеарлықтың жоқтығын көрсетеді. Дегенмен, биогаздың шығуы мен бірлескен бөліну арасында 0,95 орташа күшті оң корреляция және биогаздың шығуы мен pH арасындағы 0,13 корреляция бар. Бұл бірлескен ас қорыту (30-40 %) және pH (6-8) мәндері жоғарылаған сайын биогаздың шығымы да артатынын көрсетеді. Керісінше, биогаздың шығуы, қатты заттардың концентрациясы (-0,25) және температура (-0,054) арасында теріс байланыс бар. Бұл қатты заттардың концентрациясы (10-15%) және температура (30-40 °C) төмендеген кезде биогаздың шығымы артады, бұл ANOVA талдауымен одан әрі расталады.

Бұл зерттеу үздіксіз өнімділікті бағалау үшін жоғары тиімді болып табылатын тиімділікті бағалаудың үш өлшемін (RMSE, MAE және R2) пайдаланды. Үш болжамды модельдеу үшін тиімділік көрсеткіштерін құру арқылы талдау бақыланатын және болжанатын мәндер арасындағы сандық сәйкессіздікті анықтады, бұл тиімділікті дәйекті және дәл бағалауды қамтамасыз етті. Анықтау коэффициенті (R2) 0-ден 1-ге дейінгі мәндерді қабылдай алады, ал жоғары R2 мәні модельдің жақсы сәйкестігін көрсетеді. MAE және RMSE мәндерінің төменгі диапазоны қолайлы болжам нәтижесін білдіреді.

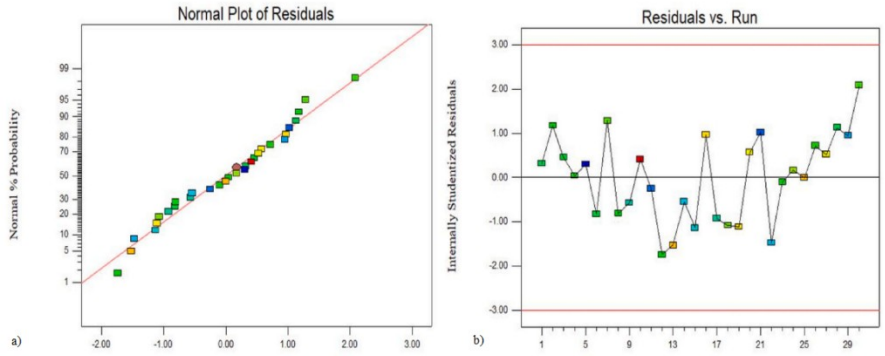


Сурет. 6. Машиналық оқытуға негізделген өнімділік моделі

6 (a–f) суретте әртүрлі ML алгоритмдері үшін болжамды және бақыланатын биогаз шығысының мәндерін салыстыруды көрсетеді. Adaboost, LGBM және XGB регрессиясы арқылы биогаздың шығуы үшін R2 мәндері сәйкесінше 0,98, 0,996 және 0,999 екені анықталды. Rmse және MAE арқылы бағаланған биогаздың шығу моделінде байқалған қателер AdaBoost үшін 8,89437 және 7,26517, LGBM үшін 1,48831 және 1,13163 және XGB регрессиясы үшін 0,62657 және 0,4669 болды. k-кросс-валидациялық талдау қайталанатын түрде жүргізілді, үлгі көлемі k = 10. Айта кету керек, кросс-тексеру үшін үлгінің 10 есе көлемін пайдалану модельді сенімді бағалауды қамтамасыз ететін болжау дәлдігінің ең жоғары деңгейіне әкелді.

Кіріс параметрлерінің маңыздылығын бағалау және регрессиялық модельді әзірлеу үшін қосымша талдау жүргізілді. Параметрлердің статистикалық маңыздылығын және олардың өзара байланысын анықтау үшін дисперсиялық талдау (ANOVA) жүргізілді. Аналитикалық талдау жауап айнымалыларының жалпы вариациясын жеке параметрлердің үлестеріне, сондай-ақ олардың өзара әрекеттесуіне бөлуге мүмкіндік береді. Бұл әр параметрдің салыстырмалы маңыздылығы туралы түсінік береді және қозғалтқыштың жұмысына қандай факторлар әсер ететінін анықтауға көмектеседі [9]. ANOVA нәтижелері "F моделінің мәні" айтарлықтай жоғары екенін және оның шуылға байланысты болу ықтималдығы небәрі 0,01% екенін көрсетеді. 0,05-тен төмен "Ықтималдық > F" мәндері бар

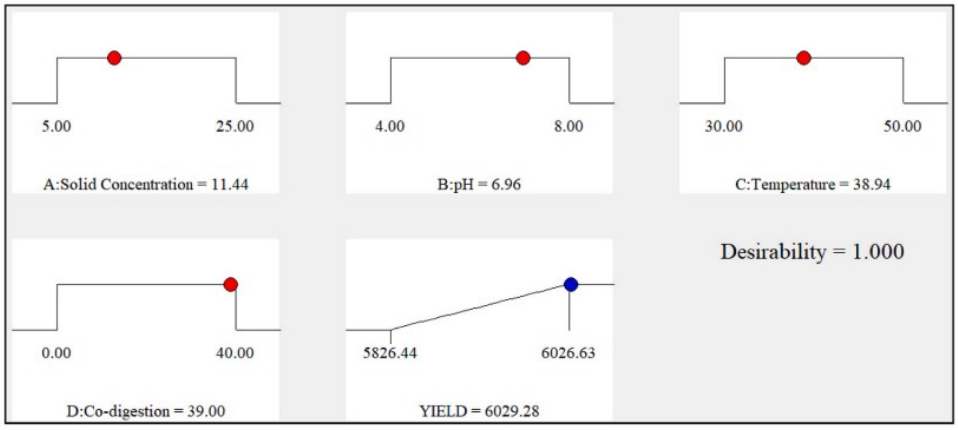
модельдік терминдер маңызды болып саналады. 0,8999-ға тең" сәйкес келмейтін F мәні " сәйкессіздіктің таза қатемен салыстырғанда шамалы екенін көрсетеді. Модельдің жалпы болжамдылығы R2 мәнін қолдану арқылы бағаланды. 1-ге жақын Жоғары R2 мәндері жақсы болжамдылықты көрсетеді, ал 0-ге жақын мән эксперименттік деректердің дәлірек сәйкестігін көрсетеді. Бұл зерттеу R2 мәні 0,996438 екенін анықтады, бұл қолайлы деп саналады. Сонымен қатар, түзетілген R2 мәні 0,993113, ал болжамды R2 мәні 0,986793 болды. Бұл мәндер арасындағы шамалы алшақтық модель мен эксперименттік мәліметтер арасындағы жақсы сәйкестікті көрсетеді, бұл биогаздың шығуын дәл болжауға мүмкіндік береді. Вариация коэффициенті (CV %) 0,067 құрады, бұл жүргізілген сынақтарда өлшеулердің дәлдігі мен сенімділігінің жоғары деңгейін көрсетеді. Регрессия коэффициенттерінің қалыптылығын бағалау үшін қалыпты ықтималдық графигі қолданылды (7A- сурет), мұнда екі жағына шашыраңқы нүктелері бар түзу сызық қалыпты таралуды көрсетеді. Қалдық пен кері ықтималдықтың арақатынасы. екінші жағынан, орындау кестесі (7б- сурет) эксперимент нәтижесіне әсер етуі мүмкін, бірақ тікелей байқалмаған айнымалыларды анықтауға көмектеседі.



7-сурет. (a) қалыпты график (b) нақты уақыт режимінде биогаз өндіру кестесімен салыстырғанда қалдық мәндер

ANOVA нәтижелеріне сәйкес, модель F (299,6928) мәнін көрсетеді, бұл оның биогаздың шығуына байланысты эксперименттік деректердегі айырмашылықтарды тиімді түсіндіру қабілетін көрсетеді. Қатты заттардың концентрациясы, РН, температура және бірлескен ас қорыту үшін F мәндері сәйкесінше 270,3793, 69,62639, 13,57036 және 3763,766 ретінде көрсетілген. Биогаз өндірісіне әсер ететін осы факторлардың ішінде бірлескен ыдыраудың F мәні ерекше жоғары, бұл басқа үш фактормен салыстырғанда биогаздың шығуына күшті әсер ететінін көрсетеді. Сонымен қатар, қатты заттардың концентрациясы биогаздың шығуына айтарлықтай әсер етеді. Қатты заттардың концентрациясының 10% - дан 15% - ға дейінгі диапазоны микроорганизмдердің тіршілік әрекеті үшін органикалық заттардың болуы мен араластырудың қарапайымдылығы мен пісіру қазандығында қолайлы жағдайларды сақтау арасындағы жақсы тепе-теңдікті қамтамасыз етеді. Қатты заттардың концентрациясы тым аз болғандықтан (шамамен 5 %), органикалық заттар белсенді микробиологиялық белсенділікті сақтау үшін жеткіліксіз болуы мүмкін, нәтижесінде биогаздың шығымы төмендейді. РН деңгейі анаэробты ашыту процестерінде биогаздың шығуына айтарлықтай әсер етеді. Биогаз өндірісі үшін ең қолайлы РН диапазоны 6,5-тен 7,5-ке дейін. Бұл pH диапазоны биогаздың негізгі құрамдас бөлігі метан өндіруге жауап беретін метаногендік бактериялардың көбеюіне ықпал етеді. Егер РН 6-дан төмен түссе, қышқылдық жоғарылайды, бұл метаногендердің белсенділігін тежеуі мүмкін, бұл биогаз өндірісінің төмендеуіне әкеледі. Екінші жағынан, егер pH 7,5-тен жоғары көтерілсе, сілтілік жоғарылайды, бұл микробиологиялық белсенділікке теріс әсер етіп, биогаздың шығуын

төмендетуі мүмкін. Биогазды өндіру үшін 30 °C-тан 40 °C-қа дейінгі мезофильді температура диапазоны қолайлы.бұл диапазонда микроорганизмдердің белсенділігі салыстырмалы түрде жоғары және ас қорыту процесі тиімді. Бақылаулар бірлескен ас қорыту пайызы артқан сайын биогаз өндірісінің ұлғаюын көрсетеді, бірлескен қорытудың 30% - дан 40% - на дейін және қатты заттардың концентрациясы 10-15% аралығында болады. Бастапқы шикізаттың жалпы санының 10-40% - составля құрайтын бірлескен ас қорыту коэффициенті көбінесе биогаздың жоғары өнімділігіне қол жеткізу үшін қолайлы болып саналады.



8-сурет. Қажеттілікті талдауға арналған сызықтық график

Биогаз өндірісіндегі оңтайлы өнімділікті анықтау үшін қажеттілік функциясы қолданылды. Суретте. 11 әр түрлі кіріс және шығыс факторларының әсерін көрсететін сызықтық график ұсынылған. Оңтайландыру әдісі 1-ге тең қажетті мәнге сәтті қол жеткізді. Жүргізілген салыстырмалы талдау негізінде осы деңгейдегі қатты заттардың концентрациясының, РН, температураның және бірлескен қорытудың оңтайлы мәндері сәйкесінше 11,44%, 6,96, 38,94 °C және 39,0% құрайтыны анықталды. Идеал басқару параметрлерінде биогаздың максималды өндірісі 6029,28 мл құрады. қажетті кіріс параметрлерінің мәндері оңтайландыру арқылы алынғаннан кейін, келесі кезең оңтайлы мәндерді Растауды және оңтайландырылған кіріс шектеулері кезінде өнімділікті бағалауды қамтиды. Эксперименттер сериясы үшін оңтайлы кіріс мәндері келісілген эксперименттік шарттар арқылы анықталды және алынған нәтижелер кейіннен бағаланды.

4. Қорытынды

Бұл зерттеудің негізгі мақсаты биогаздың шығуын болжау үшін машиналық оқытудың сенімді моделін жасау болды. Екінші мақсат дисперсиялық талдау (ANOVA) арқылы тәуелсіз параметрлер мен айнымалы реакция арасындағы байланысты орнату болды. Кейіннен оңтайлы жұмыс параметрлерін анықтау үшін жауап бетінің әдістемесіне (RSM) негізделген қажеттілікті анықтау әдісі қолданылды. Бұл зерттеудің нәтижелері XGBoost моделінің ерекше болжау қабілетін көрсетеді. Тиімділікті бағалау нәтижелері xgboost регрессиялық моделі биогаздың шығуын болжау туралы шешім қабылдауға өте қолайлы екенін көрсетеді. Сонымен қатар, xgboost моделі ең жоғары есептеу жылдамдығын көрсетті, жұмыс уақыты 222 мс, содан кейін lgbm (338 мс) және AdaBoost (347 мс) регрессиясы болды.

Әдебиеттер

1. Aqueel Ahmad, Ashok Kumar Yadav, Achhaibar Singh, D.K. Singh, Optimisation of biogas yield from anaerobic co-digestion of dual waste for environmental sustainability: ANN, RSM and GA approach, Int. J. Oil Gas Coal Technol. 33 (1) (2023) 75–101.
2. Modestus Okechukwu Okwu, Olusegun D. Samuel, Omonigho B. Otanocha, Promise P. Balogun, Ogugu J. Tega, Ebenezer Ojo, Design and development of a biodigester for production of biogas from dual waste, World Journal of Engineering 17 (2) (2020) 247–260.
3. Aqueel Ahmad, Ashok Kumar Yadav, Achhaibar Singh, Pal Amit, Optimization of cavitation-assisted biodiesel production and fuel properties from Neochloris oleoabundans microalgae oil using genetic algorithm and response surface methodology, Proc. IME E J. Process Mech. Eng. (2023), 09544089231159832.
4. Ashish Dewangan, Ashis Mallick, Ashok Kumar Yadav, Aqueel Ahmad, Dhafer Alqahtani, Saiful Islam, Combined Effect of Operating Parameters and Nanoparticles on the Performance of a Diesel Engine: Response Surface Methodology-Coupled Genetic Algorithm Approach, ACS omega, 2023.
5. J. Ramachander, S.K. Gugulothu, G.R.K. Sastry, Jibitesh Kumar Panda, M. Siva Surya, Performance and emission predictions of a CRDI engine powered with diesel fuel: a combined study of injection parameters variation and Box-Behnken response surface methodology based optimization, Fuel 290 (2021), 120069.
6. De-Cheng Feng, Zhen-Tao Liu, Xiao-Dan Wang, Yin Chen, Jia-Qi Chang, DongFang Wei, Zhong-Ming Jiang, Machine learning-based compressive strength prediction for concrete: an adaptive boosting approach, Construct. Build. Mater. 230 (2020), 117000.
7. Fatimah Alzamzami, Mohamad Hoda, Abdulmotaleb El Saddik, Light gradient boosting machine for general sentiment classification on short texts: a comparative evaluation, IEEE Access 8 (2020) 101840–101858.
8. Osman Ahmedbahaaaldin Ibrahem Ahmed, Ali Najah Ahmed, Ming Fai Chow, Yuk Feng Huang, Ahmed El Shafie, Extreme gradient boosting (Xgboost) model to predict the groundwater levels in Selangor Malaysia, Ain Shams Eng. J. 12 (2) (2021) 1545–1556.
9. Chijioke Elijah Onu, Nweke Chinenyenwa Nkeiruka, Joseph Tagbo Nwabanne, Modeling of thermo-chemical pretreatment of yam peel substrate for biogas energy production: RSM, ANN, and ANFIS comparative approach, Applied Surface Science Advances 11 (2022), 100299.

Жұмабаева Ақгүл Қалыбайқызы - магистр студенті. әл- Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 05000, Алматы; e-mail: zhumabayeva.akgul@mail.ru
Иманбек Бағлан Талқатқызы -PhD. әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті; 050000, Алматы; e-mail: Imanbek.baglan18.06@gmail.com

REMOTE MONITORING OF PATIENT CONDITIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Mukhammejanova D., Suleimenova M.U.
Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty

Abstract. *This article examines the impact of artificial intelligence (AI) on remote patient monitoring systems (RPM) in healthcare. In recent years, AI has significantly changed the approach to health monitoring by offering early disease detection, personalized treatment plans, and expanded access to medical services, especially for people with chronic illnesses or those living in remote areas. The authors discuss practical applications of AI in managing cardiovascular diseases, diabetes, mental health, and respiratory diseases, highlighting its role in improving patient care quality and reducing the burden on medical institutions. However, the development of these technologies also presents important challenges, including data privacy concerns, algorithm accuracy, and ethical issues. The article concludes with an analysis of the current state and future directions for AI applications in remote patient monitoring, emphasizing the need to address safety and reliability issues for successful AI integration into healthcare.*

Keywords*: artificial intelligence, remote patient monitoring, healthcare systems.*

Introduction

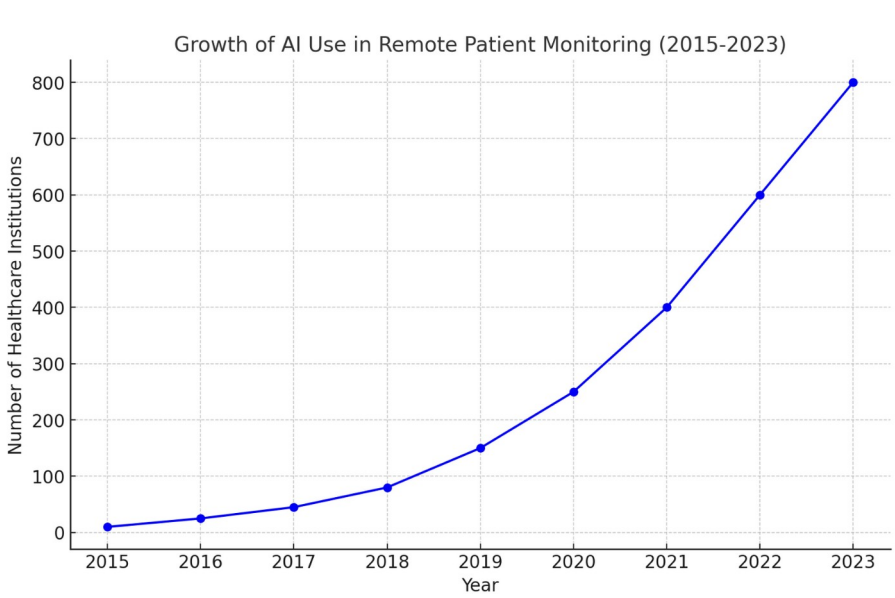
In recent years, artificial intelligence (AI) has been actively integrated into healthcare, particularly in remote patient monitoring (RPM) systems. This technology enables healthcare professionals to track patients' health outside of hospitals, which is especially important for people with chronic diseases, elderly patients, and those living in remote areas. Remote monitoring using AI ensures real-time data collection and analysis, allowing for early identification of potential health issues and reducing the need for in-person visits. While AI in RPM offers numerous benefits, such as improved service quality and cost reduction, it also raises concerns about data privacy and ethical issues.

Benefits of Remote Patient Monitoring

Artificial intelligence can identify early signs of diseases, allowing for preventive measures before the patient's condition deteriorates. AI algorithms process data from wearable devices, monitoring vital signs such as heart rate and blood sugar levels.

One of the most significant advantages of artificial intelligence in remote patient monitoring is its ability to detect early signs of diseases, enabling preventive measures before a condition becomes serious. AI algorithms can process large volumes of data from wearable devices and sensors that monitor vital signs, such as heart rate, blood pressure, oxygen levels, glucose levels, and sleep parameters.

For example, AI can analyze subtle changes in a patient’s health data that may not be immediately noticeable to the patient or an observer. These systems can identify anomalies or trends indicating a worsening condition, such as heart failure, diabetes complications, or respiratory issues. By providing real-time alerts to both the patient and healthcare providers, AI allows for quicker decision-making and timely intervention, which can prevent hospitalizations and emergency visits [1] [2].



Picture 1 - the conditional growth of artificial intelligence

The graph above shows the conditional growth of artificial intelligence (AI) use in remote patient monitoring from 2015 to 2023. It is evident that the number of healthcare institutions utilizing AI for remote monitoring has significantly increased, especially starting in 2018. This growth can be attributed to both technological advancements and a heightened interest in improving healthcare through innovative solutions.

Personalized Healthcare and Treatment Plans

Another key benefit of AI in RPM is its ability to offer personalized treatment plans. AI algorithms can consider a patient's unique medical history, lifestyle, and genetic factors to tailor recommendations that align with their specific needs. As more data is collected over time, AI systems can continuously adjust treatment plans based on new insights into the patient's condition, making healthcare more adaptive and precise.

For example, in managing chronic diseases like hypertension or diabetes, AI-powered systems can provide daily or even hourly feedback, suggesting medication adjustments or lifestyle changes based on the patient's real-time data. This helps prevent adverse health outcomes, improves patient adherence to treatment, and enhances overall health outcomes by reducing complications and improving long-term disease management.

Reduced Burden on Healthcare Systems

The integration of AI into remote patient monitoring significantly reduces the strain on healthcare systems by automating routine tasks and minimizing unnecessary visits to healthcare facilities. Many healthcare systems worldwide are overburdened by growing patient populations and staff shortages. AI helps alleviate this pressure by filtering and analyzing patient data, allowing healthcare professionals to focus only on cases that require immediate attention.

For example, AI can help monitor thousands of patients simultaneously, flagging only those who exhibit symptoms of deterioration. This targeted approach ensures that healthcare providers spend their time on the most critical cases, while patients with stable conditions continue to be monitored remotely without needing in-person consultations. In some cases, AI-powered chatbots or virtual assistants can handle routine inquiries from patients, further reducing the need for direct interaction with medical staff [3].

Expanded Access to Healthcare

Remote patient monitoring with AI is particularly beneficial for individuals living in underserved or remote areas where access to healthcare facilities is limited. Traditionally, such patients may face long travel times to reach doctors, leading to delayed diagnoses and treatments. AI-powered RPM systems enable these patients to receive continuous care without needing frequent trips to a healthcare facility [4].

For patients with mobility issues, chronic illnesses, or disabilities, AI enables continuous health tracking from the comfort of their own homes. Moreover, AI systems can automatically send updates and alerts to healthcare providers, ensuring that patients remain under constant supervision even if they are far from urban healthcare centers. In developing regions or during public health crises like the COVID-19 pandemic, AI-based remote monitoring plays a crucial role in extending healthcare access to vulnerable populations [5] .

Applications of AI in Health Monitoring

Cardiovascular Disease Management

Cardiovascular diseases (CVDs) remain the leading cause of mortality worldwide, making early detection and continuous monitoring essential. AI-powered remote monitoring devices, such as wearable electrocardiograms (ECGs), track vital heart health parameters, including heart rate, rhythm, and blood pressure, in real time. By continuously analyzing data, AI algorithms can detect signs of arrhythmia, heart attacks, or strokes before symptoms become apparent.

One of the most notable applications of AI in cardiovascular monitoring is the detection of atrial fibrillation (AFib), an irregular heartbeat that can lead to severe complications such as stroke. Wearable devices equipped with AI, like smartwatches and fitness trackers, can monitor heart activity throughout the day and notify both the patient and physician of any irregularities, allowing for early treatment and potentially life-saving interventions [6].

Diabetes is another chronic condition that benefits from AI-driven RPM systems. Continuous glucose monitors (CGMs) and insulin pumps, integrated with AI algorithms, provide real-time insights into a patient's blood sugar levels. These systems automatically adjust insulin

dosages and offer recommendations on diet and exercise based on current glucose readings.

For instance, AI can predict when a patient is at risk of hyperglycemia (high blood sugar) or hypoglycemia (low blood sugar) by analyzing trends in their glucose levels. This predictive capability allows patients and their healthcare providers to take preventive action before serious health consequences arise. The convenience of having AI oversee diabetes management reduces the need for frequent hospital visits and empowers patients to take control of their own health [7].

Mental health conditions such as depression, anxiety, and bipolar disorder are difficult to monitor in traditional clinical settings because they often fluctuate over time. AI-based tools for mental health monitoring use data from various sources – such as speech patterns, facial expressions, social media activity, and smartphone usage – to detect changes in mood or behavior that may indicate the onset of a mental health crisis.

For example, AI algorithms can analyze text messages or voice recordings to detect subtle signs of depression or anxiety that a human observer might miss. By continuously tracking these indicators, AI can provide early warnings to healthcare providers or suggest that patients seek help. In some cases, AI-driven chatbots offer cognitive behavioral therapy (CBT) exercises or relaxation techniques to help patients manage stress or anxiety in real time [8].

Respiratory conditions, including chronic obstructive pulmonary disease (COPD), asthma, and conditions caused by viral infections, benefit significantly from AI-driven remote monitoring. AI-powered sensors can track breathing patterns, oxygen saturation levels, and lung function, providing continuous insights into a patient's respiratory health.

During the pandemic, AI was instrumental in monitoring patients' oxygen levels and respiratory function remotely. Early detection of declining oxygen saturation levels in infected patients helped healthcare providers make timely decisions about hospitalization or other interventions, improving patient outcomes and reducing mortality rates [9].

Challenges and Issues

Data Privacy and Security

One of the most pressing concerns in the use of AI for remote patient monitoring is the security and privacy of patient data. Remote monitoring systems collect vast amounts of sensitive health information, which must be protected against unauthorized access or breaches. Ensuring compliance with regulations like HIPAA (Health Insurance Portability and Accountability Act) in the United States or GDPR (General Data Protection Regulation) in Europe is essential to safeguard patient confidentiality.

The risk of data breaches or cyberattacks poses significant challenges. As AI systems gather personal health data from multiple sources, robust encryption, secure cloud storage, and stringent access controls are necessary to prevent malicious actors from exploiting vulnerabilities. Furthermore, healthcare organizations must establish clear protocols for data sharing, ensuring that patient data is only used with explicit consent and for authorized purposes [10].

Accuracy and Reliability of AI Algorithms

Despite the tremendous potential of AI, the accuracy and reliability of AI-driven healthcare tools are not yet foolproof. False positives or false negatives in health monitoring systems can lead to misdiagnosis, unnecessary interventions, or delayed treatment. Ensuring that AI systems are rigorously tested, validated, and continuously improved is critical for maintaining trust in AI-powered healthcare solutions.

AI algorithms rely heavily on the quality and diversity of the data they are trained on. If the data used to train an AI model does not represent a wide range of patient demographics, the algorithm may produce biased results, particularly for underrepresented groups. Ongoing research and refinement of AI systems are necessary to mitigate such biases and improve the overall accuracy and reliability of AI in healthcare.

Ethical and Legal Considerations

As AI becomes more integrated into healthcare, ethical concerns surrounding its use have come to the forefront. One major ethical issue is determining responsibility when AI systems make clinical decisions or recommendations. Who is accountable if a patient suffers harm due to incorrect or delayed recommendations made by an AI-driven system? These questions need to be addressed to ensure that healthcare providers, patients, and developers have a clear understanding of the legal implications of AI-based care.

Moreover, there is a concern that the increasing reliance on AI might dehumanize healthcare, reducing the importance of the physician-patient relationship. While AI can assist in making clinical decisions, human empathy and understanding remain critical components of patient care. AI should serve as a complementary tool, rather than a replacement for healthcare professionals [11].

Conclusion

AI is transforming remote patient monitoring by enhancing early disease detection, personalizing treatment, reducing the burden on healthcare systems, and expanding access to care for underserved populations. Through applications in cardiovascular disease management, diabetes control, mental health, and respiratory conditions, AI demonstrates its value in improving patient outcomes and healthcare efficiency.

However, the widespread adoption of AI-driven remote monitoring systems requires addressing key challenges, including data privacy, accuracy, and ethical considerations. Ensuring that AI systems are secure, reliable, and fair will be essential for their continued success in healthcare. As AI technologies evolve, they have the potential to revolutionize patient care by making it more proactive.

References

1. Topol, Eric J. Deep Medicine: How Artificial Intelligence Can Make Healthcare Human Again. Basic Books, 2019.

2. Wang, Frank et al. "Artificial Intelligence for Chronic Disease Diagnosis and Management: A Systematic Review." JAMA, 2019.

3. McKinsey & Company. "The Role of AI in Healthcare: Unlocking Value in the Future of Medicine." McKinsey Global Institute, 2020.

4. WHO (World Health Organization). Telemedicine: Opportunities and Developments in Member States. Report on the second global survey on eHealth, 2010.

5. Krittanawong, Chayakrit et al. "Artificial intelligence in precision cardiovascular medicine." Journal of the American College of Cardiology, 2017.

6. Marr, Bernard. "How AI and Machine Learning Are Transforming Healthcare." Forbes, 2021.

7. Bzdok, Danilo, and Andreas Meyer-Lindenberg. "Machine learning for precision psychiatry: Opportunities and challenges." Biological Psychiatry, 2018.

8. Nguyen, Thao et al. "Artificial intelligence in the battle against coronavirus (COVID-19): A survey and future perspectives." Applied Intelligence, 2020.

9. Challen, Robert et al. "Artificial intelligence, bias and clinical safety." BMJ Quality & Safety , 2019.

10. He, Jianxi et al. "The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine." Nature Medicine, 2021.

11. Gerke, Sara et al. "Ethical and legal challenges of artificial intelligence-driven healthcare." Artificial Intelligence in Medicine, 2020.

Mukhammejanova Dinargul – Doctoral student. Al-Farabi Kazakh National University; 050006, Almaty; ; e-mail: m.dinargul.14@gmail.com

Suleimenova Madina – Doctoral student. Al-Farabi Kazakh National University; 050006, Almaty; ; e-mail: madekin940@gmail.com

NEUROCOMPUTER VISION IN A RASPBERRY CONTROLLER APPLICATION FOR FPV ROBOT CONTROL

R.T.Amanova, B.A. Belgibayev, M.E. Mansurova, N.B. Zhumakhan, M.U. Suleimenova
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
International University of Information Technology, Almaty, Kazakhstan

Abstract

This paper deals with the actual task of computerization and robotization of the processes of developing point watering of plants. Currently, the most advanced robotic systems are FPV-agrobots with computer vision. The use of a controlling mini-computer Raspberry Pi 4, equipped with a webcam, allows real-time monitoring and analyzing visual data in order to implement dosed irrigation into the root of the plant. To create the hardware and software, it is optimal to use the features of the Internet application RaspController. This application can work remotely both in local and global networks of the Internet. The peculiarity of this application is the presence of built-in interfaces that provide access to GPIO pins and to the webcam image. The main method of controlling the chassis of the robot is coding the control pins of the L298N chip. The peculiarity of the FPV-agro-robot management system is the intellectual recognition by machine vision of the white line of the movement trajectory to the point of irrigation and the transverse white stripe determining the dose of irrigation of each plant. The prototype of agro-robot is tested and gives the opportunity to create a working semi-industrial sample. Application of point irrigation of plants at the root gives more than 50% of irrigation water saving.

Keywords: *Neurocomputer Vision, FPV Agrobot, Spot Irrigation,Machine Vision, RaspController.*

1. Introduction

Modern agriculture is actively adopting information and communication technologies (ICT) to improve the efficiency and automation of irrigation processes. One of the most demanded methods is spot irrigation, in which water is applied directly to the root of the plant. Although this technology has been around for centuries, it requires a significant amount of manual labor. Experienced agronomists can determine the optimal water dose based on the condition of the foliage and overall plant development, but this requires considerable effort and knowledge.

With the development of robotics, the use of agro-robots capable of performing plant care tasks with minimal human intervention is becoming an urgent task. This is especially important for spot irrigation, which requires high precision and timeliness. Traditional irrigation methods often lead to overuse of water and uneven moistening of the soil, which negatively affects plant growth and yields. Replacing manual labor with robots, taking into account the peculiarities of plant growth, is an urgent task for modern agrobotics.

Computer vision and neural network technologies are becoming an important part of agriculture, increasing the accuracy and efficiency of plant management practices. These technologies enable real-time monitoring, disease detection, and product quality control to improve yields and sustainability. For example, computer vision systems can identify plant diseases with high accuracy using convolutional neural networks (CNNs), achieving accuracy of up to 95.9%[1]. N.U. Stasenko and colleagues have shown that computer vision technologies improve agricultural practices by providing early detection of postharvest rot and fungal infections, which improves product quality control and reduces losses[2].

Researchers from the University of Coimbra have developed a pest monitoring system that combines Internet of Things (IoT) and computer vision technologies. They applied deep learning models, such as YOLO and R-CNN, to automatically detect pests on sticky traps, enabling rapid

assessment of pest abundance, reducing labor costs and preventing overuse of pesticides[3]. Brandon Victor's team identified five major uses of deep learning in agriculture, including soil monitoring, plant physiological condition assessment, and yield prediction, showing that current deep learning techniques often outperform traditional approaches[4].

The aim of this study is to demonstrate the application of a computer vision-enabled robotic platform to automate point watering of plants in an agricultural production environment. The article reviews the main stages of agro-robot development, its testing in real conditions and discusses the prospects for the use of such technology in the agro-sector.

2. Methods

The capabilities of the Raspberry Pi 4 mini-computer make it a promising platform for controlling intelligent robotic systems with computer vision. The main advantages include:

1. Compactness and versatility: the Raspberry Pi 4 is a single-board ARM computer that is suitable for realizing state-of-the-art neurocomputer-based machine vision systems.[9]
2. Support for neurocomputer gas pedals: Intel NCS2 connectivity enables the use of object recognition modules such as white lines, which improves the accuracy of machine vision systems.
3. Control flexibility via GPIO: Having a GPIO library gives the ability to control pins remotely using applications such as RaspController without having to write complex code for Raspberry OS.
4. Low power consumption: The Raspberry Pi 4 has low power consumption, allowing the use of self-contained batteries to move the robot wirelessly between beds.[6]
5. Easy remote control customization: Built-in functionality in the RaspController makes it easy to create web-based applications for remote control of the agro-robot, reducing the amount of programming.

To create a compact FPV robot with computer vision, it is proposed to install a Raspberry Pi 4 mini-computer in the robotic cart body, integrating a video vision unit with installed OpenCV computer vision libraries. Initially, OpenCV will be used for online processing of the video stream from the webcam. The latest versions of OpenCV support deep learning using neural networks (DNN), which is necessary to speed up the microcontroller.[10]

System testing can be performed on a desktop PC with the OpenCV environment installed, making debugging easier before porting to the Raspberry Pi 4. The application of OpenCV DNN for real-time object detection allows mobile devices such as robotic carts to be controlled with high accuracy.[5]

Two DC motor-wheels are proposed for maneuverability. Turns are performed according to the “tank” principle: rotation of one side while stopping the other. The direction of movement of the wheels is regulated by changing the polarity on the power wires.

Power is provided by batteries with a capacity of at least 100 Ah, and the motors are controlled using 5-volt GPIO Raspberry Pi 4. The system boosts the voltage from 5V to 12-24V to provide the required power.

3. Discussion

Let us discuss the procedure for testing the motor-wheels of the running gear of the robotic cart. Firstly, there are various wattages and voltages of H-bridge DC motor-wheel drivers available commercially. The L298N micro circuit with a power of 20 watts was chosen for testing; in semi-industrial tests, similar electric bike drivers with powers up to 800 watts can be used.

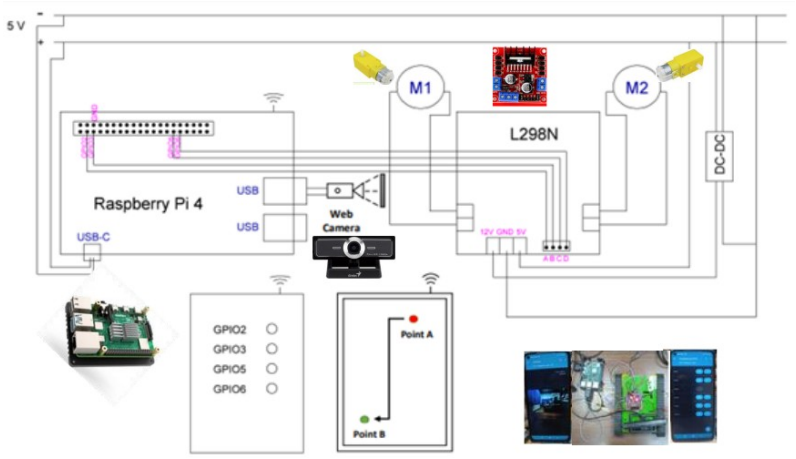


Figure 1 - Schematics of interfacing the motor-wheels of the right sideM1 and left side M2 of the robot platform with a mini PC Raspberry Pi4 for digital motion control of the robotic cart.

As can be seen from Figure-1, the mini PC is powered by 5 volts via a cable with USB Type-C connector, the motor-wheel prototype operates from 12 volts, the L298N motor driver realizes electrically the H-bridges algorithm, the logic of which is executed depending on the electrical state of the 4 input pin connectors. Thus, when a voltage of 5 volts is applied to the INA, the state of connector A changes from 0 to 1. Figure 2 shows the coding of the control of the electric motor rotation directions depending on the logic combinations INA & INB for the electric motor group M1, INC&IND for the electric motor group M2.

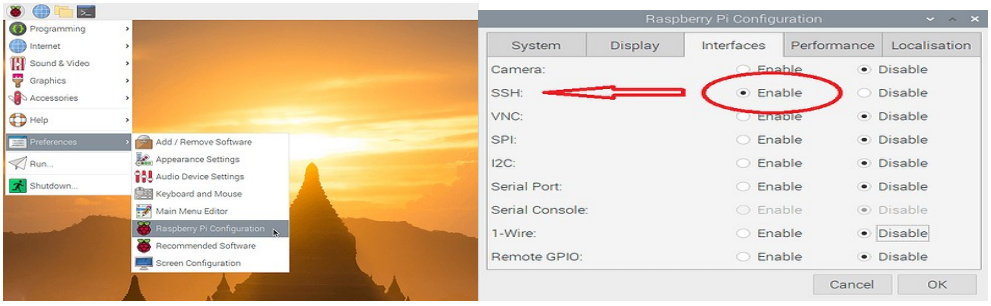
M1	INA	INB	INC	IND	M2
↻	1	0	1	0	↻
↺	0	1	0	1	↺
STOP	0	0	0	0	STOP

Figure 2 - Coding of the motor-wheel control logic using the L298N driver
Note that the coding of the four pin ABCD connector, can be done in wired and wireless versions using a radio relay as described above.

In our case, the Raspberry Pi 4 mini computer automatically connects to the Wi-Fi network of the clinic or hospital when it is first turned on, similarly, as a rule, smartphones of doctors and other medical workers of this institution are in this network. Only those employees who have the IP address and passwords of this IoT device and the installed RaspController application have access to the robot cart.[7]

Video vision cart is obtained by connecting a standard web camera with a USB connector to the USB socket of the Raspberry Pi 4 computer, as shown in Figure 3. No special settings and installations of special libraries are required in this case. RaspController application has special tabs for accessing GPIO pins and Web camera.

The first step after turning on Raspberry Pi 4 is to configure SSH. To do this, follow the steps shown in Figure 3a. In the “Interfaces” tab and enable SSH. After pressing the “OK” button, go to the main menu and enter the Shutdown command, which will restart Raspberry Pi OS.



а б

Figure 3 - SSH configuration and operating system restart path

When connecting the Raspberry Pi 4 mini PC to the local WiFi network, the controller is assigned a unique IP address of the device. To determine it, you just need to mouse over the Wi-Fi icon or enter a line with the command ifconfig or ip addr into the terminal. The obtained IP address, for example, 192.168.1.20 , must be static in the process of data exchange in the local network with the participation of the microcontroller. Otherwise, communication with the mini PC will be lost. The command window is shown below.

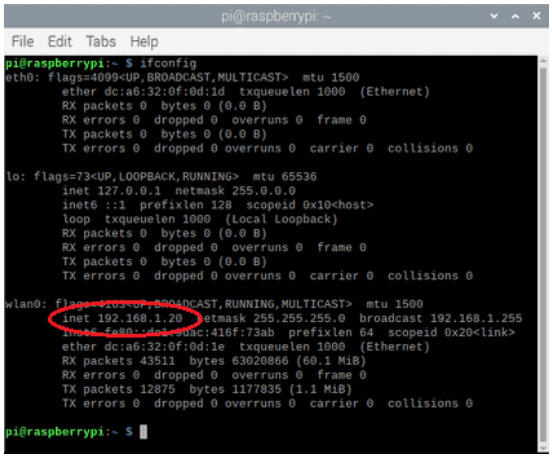


Figure 4 - the command window after entering the ifconfig OS command

After performing these steps, you need to connect the cell phone to the same local network where the Raspberry is located. Then start the RaspController application, open the RaspController application and create a new device using the Raspberry PI IP address, username and password. The default SSH port number is 22. Figure 5 below shows an example of RaspController application settings.

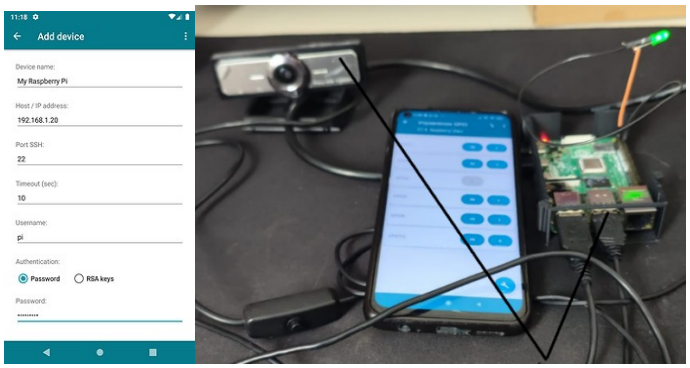


Figure 5 - RaspController application for remote control of the mini PC where: a) configuration to the local Wi-Fi network ; b) control in the application to turn on/off a 3 volt DC light bulb via GPIO2 button and black lines mark the connection diagram of the web camera to the USB connector of the Raspberry Pi 4 mini PC

4. Conclusion

1. Literature analysis and search of agrobot patents showed that in practice there are no examples of using RaspController application to create FPV-agrobot;

2. RaspController has a ready-made web-application, which reduces the labor intensity when creating a remote control panel of the robot on a cell phone.

3. Intuitive interface of the web-application allows you to manually control the robot trajectory in non-standard situations by video picture;

4. The web app has buttons to start the DC motors of the robot to move forward or backward.

5. Agrobot turns by the tank principle for which is used features L298N.

6. Machine vision using white line recognition allows you to automate the process of moving the robot from plant to plant.

7. The cross white line informs the agro-robot PAC about the amount of water for spot irrigation.

8. The final step will be tank turning the crawler platform with a 12 volt DC motor using the L298N DC motor driver. The web camera is connected standardly to the USB connector and the image is broadcast through the RaspController=>camera(USB) tab.[8]

Literature

1. Ahmed, H., Elsayed., Omar, A., Nasr., Ahmed, Elzokm., Yamen, Aly., Sherin, M., Youssef., Karma, M., Fathalla. (2024). Robotics Technology and Computer Vision for Precision Agriculture. doi: 10.1109/icmisi61517.2024.10580452
2. N., U., Stasenko., Maxim, S., Savinov., Dmitrii, Shadrin., Andrey, Somov. (2023). Deep Learning in Precision Agriculture: Artificially Generated VNIR Images Segmentation for Early Postharvest Decay Prediction in Apples. Entropy, 25(7):987-987. doi: 10.3390/e25070987
3. Bruno, de, Vasconcelos, Cardoso., Catarina, Silva., Joana, Costa., Bernardete, Ribeiro. (2022). Internet of Things Meets Computer Vision to Make an Intelligent Pest Monitoring Network. Applied Sciences, doi: 10.3390/app12189397
4. Victor, B., He, Z., & Nibali, A. (2022). A systematic review of the use of Deep Learning in Satellite Imagery for Agriculture. La Trobe University, Melbourne, Australia. Retrieved from http://arxiv.org/abs/2210.01272v1.
5. Timmons-Brown, M. (2020). Learn Robotics with Raspberry Pi: Build and Code Your Own Moving, Sensing, Thinking Robots (Russian translation by V. Yatsenkova). St. Petersburg: BHV-Petersburg. (Original work published 2019).
6. Mansurova, M., Belgibaev, B., Amanova, R., & Baigarayeva, Z. (2024). Prototype of a watering autonomous mobile robot for mini greenhouse with manipulator and computer vision. BIO Web of Conferences, 100, 02023. https://doi.org/10.1051/bioconf/202410002023
7. Mansurova, M., Belgibaev, B., Zholdas, N., Rysbayeva, R., & Duissembayeva, L. (2023). Robotization of Transport Logistics of the Surgical Department of the Hospital. 17th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Baku, October 18-20, 2023. https://doi.org/10.1109/AICT59525.2023.10313144
8. Belgibaev, B., Mansurova, M., Abdrakhim, S., & Ormanbekova, A. (2024). Smart traffic lights with video vision based on a control minicomputer in Kazakhstani megacities. Procedia Computer Science, 231, 792-797. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.136
9. Stefan, Karolcik., Nicholas, Miscourides., Miguel, Cacho-Soblechero., Pantelis, Georgiou. (2020). 1. A High-Performance Raspberry Pi-Based Interface for Ion Imaging Using ISFET Arrays. IEEE Sensors Journal, doi: 10.1109/JSEN.2020.3003564

10. Ken, T., Murata., Praphan, Pavarangkoon., Somnuk, Phon-Amnuaisuk., Takamichi, Mizuhara., Kazunori, Yamamoto., Kazuya, Muranaga., Toshiki, Aoki. (2019). A Programming Environment for Visual IoT on Raspberry Pi. doi: 10.1109/DASC/PICOM/CBDCOM/CYBERSCITECH.2019.00180

Raihan Temirbaevna Amanova – PhD candidate, Al-Farabi Kazakh National University; 050000, Almaty; e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com

Baurzhan Abdrakhimovich Belgibayev - docent, Al-Farabi Kazakh National University, 050000, Almaty; e-mail:bbelgybaev@list.ru

Madina Yessimkhanovna Mansurova - Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Artificial Intelligence and BD, Al-Farabi Kazakh National University, 050000, Almaty; e-mail:mansurova.madina@gmail.com

Nurzhan Beibituly Zhumakhan - PhD candidate, Al-Farabi Kazakh National University; 050000, Almaty; e-mail: Nurzhan_14_95@mail.ru

Madina Utegenovna Suleimenova, assistent professor, International University of Information Technology; 050000, Almaty; e-mail:madekin940@gmail.com

DETECTION OF MINERAL DEPOSITS USING SEISMIC DATA WITH CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS

B.B. Bukhatov[1], A. Fremd[2], M. Nurtas[1,2,*]
[1]*International Information Technology University, Almaty,*
[2]*Institute of Ionosphere, Almaty*

Annotation*. This study explores the application of Convolutional Neural Networks (CNN) for analyzing seismic data to identify prospective areas for hydrocarbon deposits. Traditional exploration methods are costly and time-consuming, especially for deep structures. Our proposed methodology leverages CNNs to automate the analysis of seismic images, enhancing the accuracy of identifying potential hydrocarbon zones. The model achieved high prediction accuracy when trained on real-world data, demonstrating the potential of deep learning in geological exploration and offering new opportunities for more efficient resource discovery.*

Keywords: *Convolutional Neural Networks (CNN), seismic data analysis, hydrocarbon deposits, geological exploration, deep learning, seismic imaging, prediction accuracy, resource discovery, automated analysis, hydrocarbon zones identification.*

Introduction

Seismic data analysis is a fundamental aspect of industries like oil and gas exploration, earthquake hazard mitigation, and geotechnical engineering. One of the critical tasks in seismic interpretation is the detection of faults and other geological structures, which offer valuable insights into subsurface characteristics. Traditionally, these tasks were performed using manual methods or computationally expensive models [1, 2].

In recent decades, the search for new hydrocarbon and mineral deposits has become increasingly challenging due to the depletion of easily accessible resources and the need to explore deeper geological horizons. The traditional methods of exploration, including geophysical surveys and geological data analysis, require substantial financial investment and time, particularly when targeting deposits at depths exceeding 5 kilometers, such as subsalt horizons [3]. To address these challenges, modern techniques such as remote sensing (RS) and geophysical data integration have gained prominence, providing a more efficient and cost-effective approach to exploration [4].

The integration of remote sensing data with potential field geophysics enables a more comprehensive analysis of the Earth's subsurface, improving the accuracy of predicting the locations of hydrocarbon deposits. This approach reduces the area required for ground-based studies while offering precise insights into the spatial distribution of geological anomalies [5]. Despite the advancements in remote sensing, challenges remain in effectively processing and interpreting large datasets, where the application of deep learning methods, such as Convolutional Neural Networks (CNNs), presents a promising solution [6].

This study investigates the use of CNNs for analyzing seismic data to detect potential hydrocarbon reservoirs. CNNs have shown significant success in various image recognition tasks and are particularly effective in identifying patterns within complex datasets, making them suitable for analyzing seismic images. By automating the process of seismic data interpretation, CNNs can provide a more efficient means of identifying promising zones for further exploration [7].

This study aims to develop and evaluate a CNN-based approach for analyzing seismic data to enhance the accuracy and speed of hydrocarbon exploration. The methodology includes seismic image preprocessing, CNN training, and performance validation. Results show that CNNs can accurately predict potential deposits, offering a valuable tool for optimizing oil and gas exploration.

The findings of this research highlight the potential of deep learning techniques in modern geological exploration, offering a new pathway to reduce exploration costs and time. This approach aligns with the need for innovative methods in the search for new resources, particularly as traditional reserves become increasingly difficult to locate and exploit.

1. Related Work

The use of Convolutional Neural Networks (CNNs) in geological mapping and mineral prospectivity prediction has gained significant attention in recent years due to their ability to process and analyze complex geospatial data. CNNs are particularly effective in extracting spatial and spectral features from remote sensing images and other geological datasets, offering advantages over traditional methods such as Random Forests and Support Vector Machines [6].

For instance, Wang and Zuo (2024) demonstrated the potential of CNNs for lithological mapping using hyperspectral images, achieving high classification accuracy by combining 1D and 2D CNNs to extract both spectral and spatial features [7]. This study highlights the suitability of deep learning for geological applications, where the joint integration of spatial-spectral features significantly improves the accuracy of mapping lithological units. Similarly, Pan et al. (2023) integrated remote sensing and geochemical survey data using CNNs for geological mapping in regions with dense vegetation, demonstrating that CNNs can effectively leverage multisource data to improve mapping accuracy compared to traditional machine learning approaches [6].

The application of CNNs extends beyond lithological mapping to mineral prospectivity prediction. He et al. (2024) proposed an ensemble learning approach that combines CNNs with self-attention mechanisms to improve the accuracy and stability of mineral prospectivity predictions [8]. This method proved effective in identifying areas with high mineralization potential, especially in complex geological settings like the Bawanggou gold mine area.

In the context of monitoring geodynamic processes, Fremd (2022) demonstrated the use of radar interferometry for tracking deformation in hydrocarbon deposits, highlighting the potential of remote sensing techniques for geophysical monitoring [9]. The study noted that the integration of remote sensing and geophysical data plays a crucial role in accurately delineating prospective zones.

Overall, CNNs have proven to be valuable tools for geological mapping and mineral prospectivity prediction, offering the ability to process high-dimensional data and extract meaningful features. The integration of CNNs with remote sensing and geochemical data enables a more precise delineation of geological units and potential resource-rich zones, making these techniques increasingly important for modern exploration strategies [6]-[9]. However, challenges remain in balancing model complexity with interpretability, which has led to ongoing research into hybrid and ensemble approaches that can further enhance the robustness of CNN models in geological applications [10].

2. Methodology

This study utilized five distinct maps, each representing key geophysical and geological parameters of the region: geological map, residual gravity field map, original magnetic field map, terrain elevation map, and thermal field map in 2D with JPEG format. The maps provided crucial data for identifying potential mineral deposits. Since they varied in size and resolution, neural network-based scaling methods were used to standardize them to 4184x5070 pixels for consistent use in machine learning models. This process ensured data consistency and preserved crucial information during resizing, minimizing distortions that could affect subsequent analyses [10].

Figure 1. Map images after scaling

After resizing, the maps were checked for geographic alignment using overlay techniques to ensure accurate correspondence of known deposit locations across all maps [11]. Adjustments were made to correct any discrepancies, as even minor shifts could affect model training accuracy.

A precise mask representing the locations of known deposits was essential for training the neural network. Initially, this mask was manually created using a graphical editor, marking deposit areas in black and the remaining regions in white [12]. Labels and graphical elements on the maps, such as deposit names, were removed using computer vision techniques and neural networks to prevent misleading the model during training [13].

The high resolution of the maps required significant computational resources, so they were divided into 128x128 pixel tiles. An overlapping segmentation with a 50% stride was used to retain context at tile boundaries, and intermediate divisions were added for denser coverage. The dataset was split into training (80%), validation (10%), and test (10%) sets. Validation and test tiles, containing deposits, were independent from the training data.

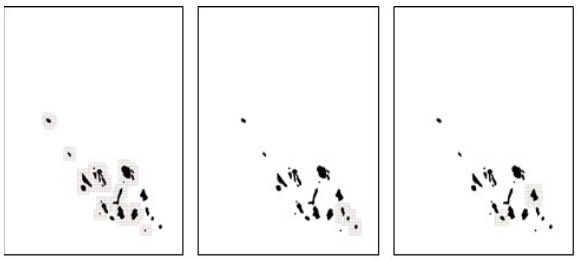


Figure 2. Train, validation, and test split without

To address the limited training data, augmentation techniques like flipping, rotations (90°, 180°, 270°), slight sharpening, and minimal noise were applied, increasing the dataset eightfold. The training set expanded from 241 to 1,928 images, the validation set from 41 to 328, and the test set from 46 to 368 images.

2.1. Neural Network Training

The

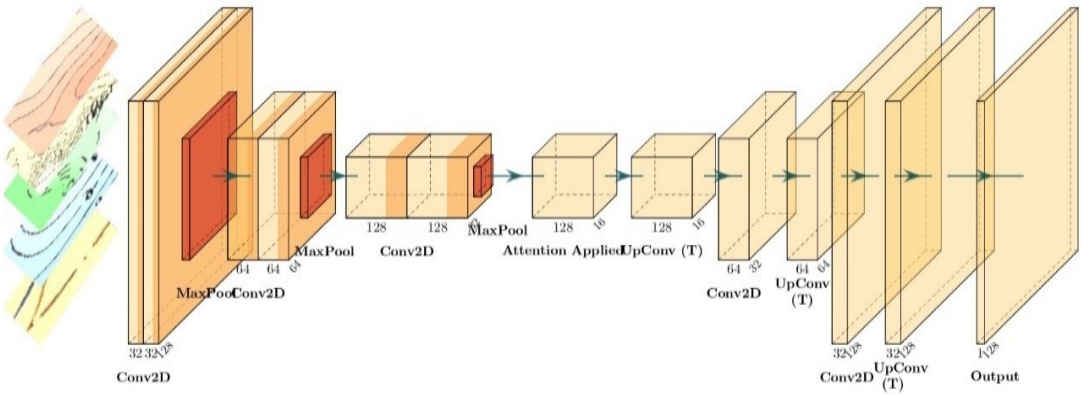


Figure 3. CNN architecture with 3 convolutional layers and an attention mechanism. The other architectures are similar, either adding a fourth convolutional layer of size 256 or removing the attention mechanism.

CNN[15] training was conducted using four different models: two with three convolutional layers and two with four convolutional layers. Each configuration was tested both with and without an attention mechanism to enhance feature extraction. The dataset comprised five integrated maps, providing 15 input channels. For the three-layer models, the first convolutional block had 32

filters, increasing to 64 and 128 in subsequent layers, while the four-layer models extended to 256 filters in the final block. Dropout rates were adapted to reduce overfitting, with higher dropout applied in deeper layers [16]. The attention mechanism was designed to emphasize important spatial features during training, aiming to improve segmentation performance. All models employed a decoder with transposed convolutions, reconstructing the resolution to 128x128 pixels, and used sigmoid activation for binary mask generation, predicting deposit locations.

2.1. Loss Function and Metrics

Binary cross-entropy was selected as the loss function, given its effectiveness for binary segmentation tasks. To assess model performance, the F1[15] score was used as a primary metric, offering a balance between precision and recall, while the Intersection over Union (IoU) metric evaluated the overlap between predicted and true deposit regions [17].

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (1)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (2)$$

$$F1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}, \quad (3)$$

$$IoU = \frac{TP}{TP + FP + FN}, \quad (4)$$

Where: TP = True Positives, FP = False Positives, FN = False Negatives.

3. Results and Discussion

The results from the four CNN models were evaluated after training, which lasted between 20 to 36 epochs. This variation in training duration was controlled by implementing early stopping and learning rate reduction mechanisms to avoid overfitting. Specifically, early stopping was configured to monitor the validation loss with a patience of 10 epochs, while the learning rate was reduced by a factor of 0.2 after 5 epochs of no improvement, ensuring a minimum learning rate of $1*10^{-6}$.

Model Name	Mean Accuracy	Mean F1	Mean Precision	Mean Recall	Mean IoU
CNN_3_layers_with_attention	0.89220	0.91007	0.87951	0.96510	0.85681
CNN_4_layers_with_attention	0.89211	0.90546	0.90715	0.91895	0.85136
CNN_3_layers	0.88634	0.90481	0.88041	0.95361	0.85122
CNN_4_layers	0.88354	0.89952	0.88178	0.93704	0.84705

Table 1. Results of different CNN models

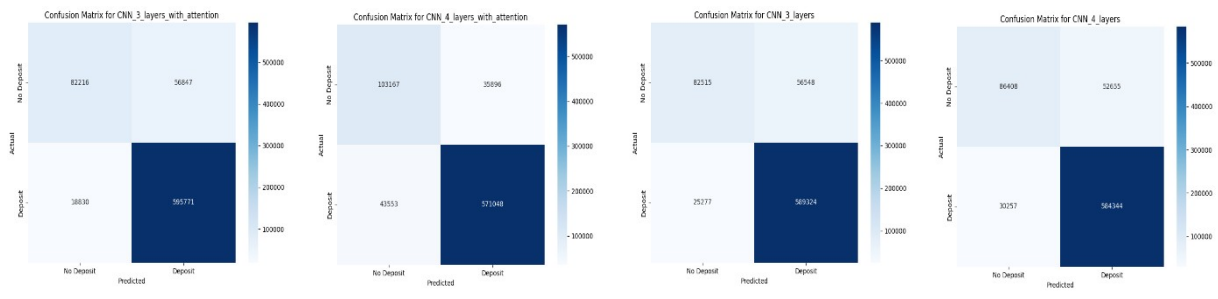


Figure 4. Confusion matrix of different CNN models

The results show that the CNN with 3 layers and attention performed best, achieving the highest accuracy (0.89220) and F1 score (0.91007), making it the most balanced model in terms of precision and recall. The 4-layer CNN with attention also performed well, particularly in precision (0.90715), though slightly behind in overall performance.

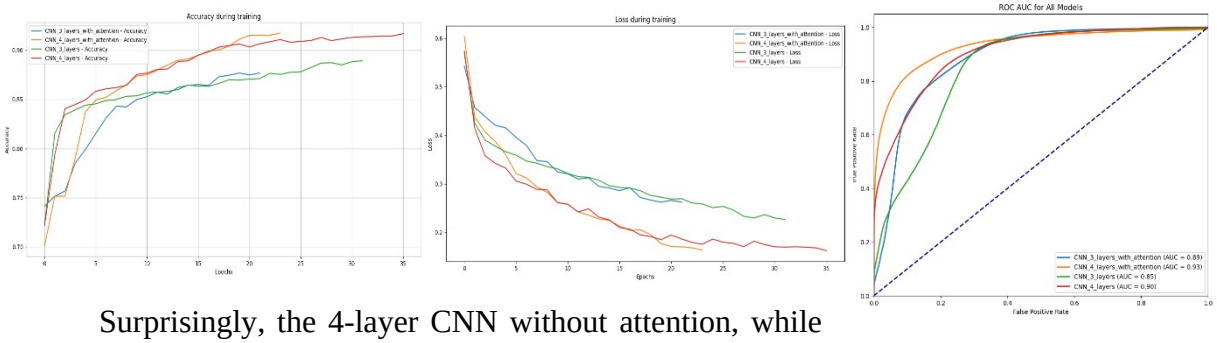


Figure 5. Loss and Accuracy during the training and ROC-AUC of different CNN models

Surprisingly, the 4-layer CNN without attention, while lower in some metrics, demonstrated solid performance in ROC AUC, showing that it can still be a reliable option in certain scenarios. Overall, attention mechanisms consistently improved model results, with the 3-layer model leading the way.

4. Conclusion

This study demonstrates the potential of using Convolutional Neural Networks (CNNs) for analyzing multi-channel geospatial data in the context of mineral exploration. By integrating geological, geophysical, and thermal maps into a unified dataset, the CNN effectively learned to identify potential deposit areas, achieving high accuracy and robust results. The data preparation process, including image scaling, alignment, and label removal, was critical in ensuring data consistency and enhancing model performance. The results highlight the advantages of deep learning in automating the detection of complex geological patterns, offering a promising tool for mineral prospectivity mapping. Future work could explore the application of more advanced neural architectures and the inclusion of additional data sources to further improve prediction accuracy and extend this approach to other regions.

References

1. Meirmanov A. M., Nurtas M. Mathematical models of seismic in composite media: elastic and poroelastic components // Electronic Journal of Differential Equations. – 2016. – No. 184. – P. 1-22.
2. Meirmanov A. M., Mukhambethzanov S., Nurtas M. Seismic in composite media: elastic and poroelastic components // Siberian Electronic Mathematical Reports. – 2016. – Vol. 13. – P. 75-88.
3. Karimova D. The era of large deposits in Kazakhstan is coming to an end: the country is looking for new reserves. – 2024. – Available from: *https://lsm.kz/v-iyune-na-torgi-vystavyat-83-rezervnyh-mestorozhdeniya*.
4. Capra A., Scaioni M., Wieser A. Editorial: Ground-based remote sensing for areal deformation monitoring // Applied Geomatics. – 2015. – Vol. 7. – P. 61-63.
5. Liu L., Huang G. H., Fuller G. A. A GIS-supported remote sensing technology for petroleum exploration and exploitation // Journal of Canadian Petroleum Technology. – 2001. – Vol. 40, No. 11.
6. Pan T., Zuo R., Wang Z. Geological Mapping via Convolutional Neural Network Based on Remote Sensing and Geochemical Survey Data in Vegetation Coverage Areas // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2023. – Vol. 16. – P. 3485-3499.
7. Wang Z., Zuo R. An Evaluation of Convolutional Neural Networks for Lithological Mapping Based on Hyperspectral Images // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. – 2024. – Vol. 17. – P. 6414-6427.

8. He H., Zhu H., Yang X., Zhang W., Wang J. Mineral prospectivity prediction based on convolutional neural network and ensemble learning // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – P. 22654.
9. Fremd A. The use of remote data for monitoring deformation processes in hydrocarbon deposits // Reliability: Theory & Applications. – 2022. – Special Issue No. 4. – P. 291-298.
10. Zyro. AI Image Upscaler. – Zyro. – Accessed October 12, 2024. – Available from: *https://zyro.com/tools/ai-image-upscaler*.
11. Imgonline. Impose a picture on another picture online. – Imgonline. – Accessed October 12, 2024. – Available from: *https://www.imgonline.com.ua/impose-picture-on-another-picture.php*.
12. OpenCV. InRange function tutorial. – OpenCV Documentation. – Available from: *https://docs.opencv.org/3.4/da/d97/tutorial_threshold_inRange.html*.
13. Pixelcut. Magic Eraser. – Pixelcut. – Accessed October 12, 2024. – Available from: *https://www.pixelcut.ai/t/magic-eraser*.
14. Sankaranarayanan S., Balachandran V. P., Abedin S. F., Taleb T., Alouini M. S. Reducing age of information in UAV-aided wireless networks through machine learning // IEEE Communications Magazine. – 2018. – Vol. 56, No. 1. – P. 36-43.
15. Li Q., Chen G., Luo L. Mineral prospectivity mapping using attention-based convolutional neural network // Ore Geology Reviews. – 2023. – Vol. 156. – P. 105381.
16. Salehin I., Kang D. A review on dropout regularization approaches for deep neural networks within the scholarly domain // Electronics. – 2023. – Vol. 12, No. 14. – P. 3106.
17. Bernhard R., Kampffmeyer M., Jenssen R. What's outside the intersection? Fine-grained error analysis for semantic segmentation // Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV). – 2024. – Available from: *https://openaccess.thecvf.com/content/WACV2024/papers/Bernhard_Whats_Outside_the_Intersection_Fine-Grained_Error_Analysis_for_Semantic_Segmentation_WACV_2024_paper.pdf*.

Bukhatov Bekzat Bolatbekuly – second year master student. International Information Technology University; 050040, Almaty; e-mail: bukhatovbekzat@gmail.com

Alexander Fremd – PhD, Chief Scientific Researcher. Institute of Ionosphere; 050020, Almaty; e-mail: afremd@list.ru

Nurtas Marat – PhD, Associate Professor. International Information Technology University; 050040, Almaty; Lead Scientific Researcher. Institute of Ionosphere; 050020, Almaty; e-mail: maratnurtas@gmail.com

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАТНОГО ПЕРЕВОДА В АНГЛО-КАЗАХСКОМ НЕЙРОННОМ МАШИННОМ ПЕРЕВОДЕ

А. Кәрібаева, Б. Абдуали, Д. Әмірова
e-mail: a.s.karibayeva@gmail.com, balzhanabdualy@gmail.com, amirovatdina@gmail.com
Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. *В этой статье будет описываться нейронный машинный перевод(НМП) с английского языка на казахский язык с использованием технологии обратного перевода. Для обучения систем нейронного машинного перевода обычно используются высококачественные параллельные корпуса, выполненные профессиональными переводчиками. Однако, для казахско- английской пары языков объем таких параллельных корпусов является недостаточным для качественного обучения нейронного машинного перевода. Обратный перевод одноязычных данных может использоваться для создания синтетических параллельных корпусов, которые могут добавляться к исходным параллельным данным для обучения нейронного машинного перевода. В этой работе производится исследование, как использовать данные, полученные путем обратного перевода, в качестве обучающегося корпуса вместе с исходным корпусом, переведенным профессиональными переводчиками. Эксперименты были сделаны с разными соотношениями оригинального (натурального) корпуса с синтетическими корпусами, полученными путем обратного перевода.*

Ключевые слова: казахский язык, обратный перевод, система нейронный машинного перевода, синтетический корпус.

Введение и описание проблемы. Нейронный машинный перевод - это концепция машинного перевода на основе нейронной сети. Нейронные сети - одна из классических задач искусственного интеллекта. Системы нейронного машинного перевода - это приложения или онлайн-сервисы, которые обычно используют машинное обучение - технологию искусственного интеллекта - для перевода текста с одного языка на другой. Еще недавно крупные поставщики переводческих услуг, включая Google Translate, Яндекс, Microsoft Translation, использовали систему статистического машинного перевода (SMT). Но с 2015 года некоторые из них, а именно Google, Яндекс, Microsoft используют нейронную сеть в своих системах машинного перевода. Преимуществом использования нейронного машинного обучения является его универсальность к обработке текста на любом языке.

Нейронный машинный перевод в языках с достаточными количеством исходных ресурсов для обучения показывает достаточно хорошие результаты. Отсутствие или недостаток больших параллельных корпусов для обучения представляет серьезную практическую проблему для многих языковых пар с ограниченными ресурсами. Каждая задача обработки естественного языка требует огромного объема данных для конкретной рассматриваемой проблемы.

Казахский язык относится к мало-ресурсным языкам со сложной морфологией. В просторах Интернета трудно найти качественно переведенные параллельные тексты казахского на английский язык достаточного количества для обучения НМТ. Эта проблема может серьезно ухудшить качество машинного перевода. Поэтому создание параллельных корпусов для языков с ограниченными ресурсами, таких как казахский язык, очень актуально. Имеющиеся параллельные корпуса недостаточны для обучения систем машинного перевода казахского языка с хорошим качеством перевода. Одним подходов решения данной проблемы недостатка количества параллельных корпусов для обучения НМТ является создание синтетических корпусов путем автоматического машинного

перевода, а именно обратного машинного перевода, в котором тексты целевого языка переводятся на исходный язык машинным переводом, и полученные параллельные тексты добавляются к имеющимся, тем самым увеличивая объем исходных данных для обучения НМТ.

Имеются ряд работ, предлагающих разные способы создания синтетических корпусов. Есть перевод с обратным переводом, сбор псевдо корпусов, перевод по фразам, создание синтетических предложений с использованием рекуррентных нейронных сетей и т. д. В этой статье рассматривается гибридный подход в виде объединения оригинального корпуса с синтетически полученным с обратным переводом машинного перевода казахского языка.

Предыдущие работы

Несмотря на существенный успех по качеству машинного перевода, нейронный машинный перевод страдает от проблемы нехватки данных. Для большинства языковых пар не существует большого объема, высококачественных и широко распространенных двуязычных корпусов. Даже для самых богатых ресурсами языков основные источники доступных параллельных корпусов часто ограничиваются правительственными документами или новостями. Обратный перевод является важным направлением в нейронном машинном переводе для мало-ресурсных языков.

Совершенствование нейронного машинного перевода на небольших объемах данных было рассмотрено в работах [1,2].

В работе [3] созданы синтетические исходные предложения, автоматически переводя каждое целевое (английское) предложение на исходный язык (казахский).

Полу-контролируемое (self-supervised) обучение из одноязычного текста было использовано в работе [4]. Эксперименты показали, что двойной NMT очень хорошо работает на англо-французском переводе; особенно, изучая одноязычные данные, он достигает сопоставимой точности с нейронным машинным переводом, подготовленным на основе полных двуязычных данных для задачи перевода с французского на английский.

Исследование обратного перевода также распространилось на обучения контролируемых (supervised) систем только синтетическими данными в статистическом машинном переводе [5]. Этот подход, предлагает использовать одноязычные данные для улучшения перевода между похожими языками.

Создание доменных специфических параллельных корпусов автоматическими и полуавтоматическими методами был предложен в работе [6]. Было собрано около 6500 турецко-английских рефератов для медицинских целей из Интернета.

Обратный перевод использовался для улучшения машинного перевода для низко ресурсного языка, а именно белорусского [7]. Они транслитерируют язык с высокими ресурсами на язык с низким уровнем ресурсов и обучают систему, которая затем используется для перевода одноязычных данных.

Обучение с использованием сглаживающих меток рассмотрено в работе [8]. Это привело к некачественным выборочным предложениям, которые повлияли на синтетический корпус.

Метод количественной оценки достоверности предсказаний модели нейронного машинного перевода был предложен в [9]. Этот метод позволяет обратному переводу лучше справляться с ошибками перевода.

Работа [10] представляет анализ моделей, обученных только на основе синтетических данных. Они обучают модели нейронного машинного перевода с параллельным корпусами, состоящим из: синтетических данных на исходном языке, синтетические данные только на целевом языке, и из параллельных предложений, из которых исходный язык или целивой язык является синтетическим.

Для увеличения объема параллельных корпусов для казахского языка была предложена регенерация синтетического корпуса в работе [11]. Синтетический корпус был создан на основе полной системы окончаний казахского языка [12].

В этой статье будет рассмотрена технология обратного перевода для англо-казахской системы, а также проведен анализ влияния синтетического корпуса на качество перевода упомянутой системы.

Описание технологии обратного перевода для англо-казахской языковой пары

Обратный перевод получен с использованием системы машинного перевода Google. В нейронном машинном переводе англо-казахской системы использовались следующие типы корпусов:

- N - текст естественного корпуса;
- S - текст синтетического корпуса.

Было запущено два эксперимента для исследования влияния синтетического корпуса на качество перевода. В первом эксперименте объем N=const естественного корпуса был постоянный, а объем S↑ синтетического корпуса увеличивался с шагом на 20%.

Во втором эксперименте, объем вместе взятых корпусов N и S составляет 140 000 параллельных предложений. В этом эксперименте N↑ увеличивался, а S↓ уменьшается.

Для первого эксперимента объем естественного(оригинал) составил 70 000 параллельных предложений. Для синтетической части, было взят текст казахского языка с таким же объемом, 70 000 одноязычного казахского текста. Синтетический корпус был получен системой машинного перевода Google. Текст на казахском языке, 70 000 предложений были переведены на английский язык. Переводчик Google имеет ограничение в количестве символов 5000, поэтому предложения переводились в среднем по 50-60 предложений. Ниже в Таблице 1 приведены примеры предложения с переводом.

Таблица 1 - Примеры предложении с переводом

Оригинал на казахском	Полученный перевод через Google	Оригинальный перевод
Соңғы үш жыл ішінде Астана өзгерген.	In three years of its existence, Astana has changed .	Astana has changed over the last three years .
Халық үшін маңызды пенициллин.	Important penicillin to the population.	Penicillin is important for the population.
Мемлекет басшысы Нұрсұлтан Назарбаев Ресей Федерациясының Президенті Владимир Путинге Донецк маңында болған ТУ - 154 жолаушылар ұшағының апатынан адамдардың қаза болуына байланысты көңіл айтты.	Head of state Nursultan Nazarbayev and President of the Russian Federation Vladimir Putin", near Donetsk TU - 154 expressed condolences over the loss of life as a result of a passenger plane crash.	Head of the State Nursultan Nazarbayev expressed condolences to President Vladimir Putin of the Russian Federation in connection with human deaths in the crash of a TU - 154 passenger airbus near to Donetsk .

В начале система была обучена только на оригинальном качественном тексте, где показало качество оценки 22,61 метрики BLEU.

Далее добавлялось в естественный корпус по 20% от 70 000 предложений синтетического корпуса. Это составляет 14 000 предложении из синтетического корпуса. С

каждым экспериментом количество увеличилось с 20% синтетического корпуса до 100%(70 000).

Во втором случае экспериментов, объем корпуса в сумме был 140 000 параллельных предложений. Изначально, был запущен на 140 000 предложений естественного корпуса. Далее, количество синтетического корпуса уменьшалось, а доля объема естественного корпуса увеличивалась.

Эксперименты и результаты

Эксперименты были сделаны на Tensorflow. TensorFlow - это библиотека с открытым исходным кодом для высокопроизводительных численных расчетов. Tensorflow позволяет развертывать вычисления на разных платформах. Для всех экспериментов использовались одинаковые файлы тестирования, а объем корпуса для обучения был разным, зависящим от добавления синтетического корпуса в естественный корпус. Параметры обучения следующие:

- 2-layer LSTM seq2seq model
- 1024 dim hidden units
- 0.2 dropout
- двунаправленный кодировщик

Для обучения системы нейронного машинного перевода необходимы следующие данные(файлы):

- англо-казахский параллельный корпус
- казахский одноязычный словарь
- английский одноязычный словарь
- тестинговые файлы

Англо-казахский параллельный корпус состоит из объединения N и S, где оригинальный корпус был объединен с синтетическим корпусом на основе обратного перевода. Тестовые файлы делятся на 2 части: dev и test. Объем корпуса менялся в зависимости от количественной доли синтетического корпуса. Объем тестовых файлов составил по 1400 параллельных предложений для 2 тестовых файлов. В казахском словаре было 28503 единиц, а в английском 15832 единиц.

Все данные для обучения нейронного машинного перевода прошли предобработку, а именно тексты тонизированы и нормализованы. Токенизация - это отделение знаков препинания от слов, нормализация - нормализует символы(например, нормализует кавычки Unicode).

В Таблице 2 приведены результаты по первому виду эксперимента, где N был постоянным, а S менялся с шагом 20% увеличения.

Таблица 2 - Качество оценки по первому виду эксперимента при увеличении синтетического корпуса

N	S	BLEU
70K	0 (0%)	22,61
70K	14K (20%)	21.7
70K	28K (40%)	22.7
70K	42K (60%)	23.0
70K	56K (80%)	22.1
70K	70K (100%)	21,14

По результатам эксперимента по первому типу, можно прийти к выводу, что при большем увеличении объема синтетического корпуса качество перевода падает.

В Таблице 3 приведены результаты экспериментов по второму типу экспериментов, где соотношение N и S менялось, где соотношение естественного текста увеличивался, а синтетическое уменьшалось.

Таблица 3 - Качество оценки по второму виду эксперимента

N	S	Соотношение	BLEU
70K	70K	50% / 50%	21,14
84K	56K	60% / 40%	23.5
98K	42K	70% / 30%	25.9
112K	28K	80% / 20%	26.4
126K	14K	90% / 10%	28.9
140K	0	100% / 0%	27,19

По результатам эксперимента по второму типу, можно утверждать, что когда объем естественного текста больше чем синтетического качество перевода поднимается.

Заключение и будущие работы. В статье был рассмотрено влияние синтетического корпуса на качество перевода нейронного машинного перевода англо-казахской языковой пары. При меньшем количестве синтетического корпуса по сравнению с одиночным обучением на естественном корпусе, качество перевода улучшается от 0.5 до 1.7 метрики BLEU. В дальнейшем планируется обучить нейронный машинный перевод для англо-казахской и казахско – английской пары языков на технологии трансферного обучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rico Sennrich, Barry Haddow, and Alexandra Birch. 2016. Improving neural machine translation models with monolingual data. In Proceedings of ACL 2016.
2. Yong Cheng, Wei Xu, Zhongjun He, Wei He, Hua Wu, Maosong Sun, and Yang Liu. 2016. Semisupervised learning for neural machine translation. In Proceedings of ACL 2016.
3. Briakou E. and Carpuat M. The University of Maryland’s Kazakh–English Neural Machine Translation System at WMT19. Proceedings of the Fourth Conference on Machine Translation, Florence, Italy, August 1-2, 2019, pp. 134-140.
4. Di He, Yingce Xia, Tao Qin, Liwei Wang, Nenghai Yu, Tie-Yan Liu, and Wei-Ying Ma. 2016. Dual learning for machine translation. In Proceedings of the 30th International Conference on Neural Information Processing Systems, pages 820–828, USA. Curran Associates Inc.
5. Benjamin Marie and Atsushi Fujita. 2018. Unsupervised neural machine translation initialized by unsupervised statistical machine translation. CoRR, abs/1810.12703.
6. G. Doğru, A. Martín-Mor, A. Aguilar-Amat, Proc. LREC 2018, (2018)
7. Alina Karakanta, Jon Dehdari, and Josef van Genabith. Neural machine translation for lowresource languages without parallel corpora. Machine Translation, 32, 2018. 23pp.
8. Gabriel Pereyra, George Tucker, Jan Chorowski, Łukasz Kaiser, and Geoffrey Hinton. 2017. Regularizing neural networks by penalizing confident output distributions. arXiv preprint arXiv:1701.06548.

9. Wang, Shuo & Liu, Yang & Wang, Chao & Luan, Huanbo & Sun, Maosong. (2019). Improving Back-Translation with Uncertainty-based Confidence Estimation.

10. Jaehong Park, Byunggook Na, and Sungroh Yoon. Building a neural machine translation system using only synthetic parallel data. arXiv preprint arXiv:1704.00253, 2017.

11. U. Tukeyev, A. Karibayeva, B. Abduali (2019). Neural machine translation system for the Kazakh language based on synthetic corpora. MATEC Web of Conferences. 252. 03006. 10.1051/matecconf/201925203006.

12. Tukeyev, U., Automaton models of the morphology analysis and the completeness of the endings of the kazakh language. Proceedings of the international conference “Turkic languages processing” TURKLANG-2015 September 17–19, Kazan, Tatarstan, Russia, 2015. 91-100 pp

EVALUATION OF IBM'S PROPOSED TERM EXTRACTION APPROACH ON THE ACTER CORPUS

A. Kalykulova[1], B. Kairatuly[2], K. Rakhymbek[3], A. Kyzyrkanov[1], A. Nugumanova[1]

[1]Astana IT University, Kazakhstan, Astana, Kazakhstan
[2] Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
[3] Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Oskemen, Kazakhstan

Annotation. *Automated term extraction seeks more efficient and precise methods. IBM researchers have proposed an unsupervised annotator aimed at extracting highly technical domain terms. This approach utilizes sentence encoders and analysis of morphological signals, term-to-topic relationships, and similarities within terms. In this paper, we attempt to realize this method proposed by IBM from scratch and conducted testing using the ACTER dataset. Additionally, in our experimentation, we include an analysis of extracting incorrect n-grams that may adversely affect the quality of the unsupervised annotator. Our recreated method has demonstrated an F1-score of 44.8% and a loss of 5.15% compared to the IBM approach on the ACL-RD-TEC 2.0 dataset. On the ACTER dataset, our metrics show similar results to other advanced methods in the field performed on this dataset.*

Key words: *term extraction, unsupervised learning, natural language processing, IBM approach, ACTER dataset.*

Introduction

Extracting domain-specific terms is a key challenge in natural language processing (NLP) because it helps improve text classification, information extraction, data clustering, and other NLP tasks. One such challenge, especially focused on unsupervised methods of extracting terms, is to reduce the time and labor spent analyzing data in different contexts.

To improve the efficiency of data processing in training, it is important to use more efficient methods such as Automated Term Extraction (ATE). This process is a computerized solution for identifying terms in subject-specific text corpora [1].

The paper [2] presents a new approach that uses a completely unsupervised Annotator (UA). UA is based on morphological features from subword segmentation and metrics of term similarity to topics and intrinsic similarity of terms computed using pre-trained public sentence encoders.

The purpose of this paper is to implement a method for extracting terms using the UA approach using Python based on work as well as to conduct a comparative analysis on the ACTER (Annotated Corpus for Term Extraction Research) dataset. This corpus contains textual data in four domains (corruption (corp), training (equi), heart failure (equi), and wind energy (wind)) in three languages (English, French, Dutch) but this study uses only English.

The paper presents the following aspects:

1. The test results of the UA1 annotator, which uses the approach described in the article, are analyzed on the ACTER dataset. In addition, these results are compared with data from five keyword extraction methods adapted to the term extraction task: NMF, TF-IDF, TextRank, RAKE, and YAKE.

2. A detailed study of the reasons for the extraction of incorrect n-grams as well as the factors that affect the quality of the annotator.

This article aims to explore the performance and adaptability of the IBM UA approach in the context of the ACTER dataset, which could provide valuable insights for future NLP research.

1. Literature Review

The study of terms in the context of specialized fields is an integral part of scientific research as it allows for a more accurate definition of key concepts in specific disciplines. A great deal of research has focused on Automatic Term Extraction (ATE) techniques to identify the factors that determine when a word can be considered a term. One of the key concepts in this process is the

"termhood" proposed by [3], which emphasizes the degree of connection between a linguistic unit and specific concepts in a given field.

The main challenge of the term extraction task is to identify the inherent features of the subject domain terms by which they are identified in the text. There are basically three approaches of unsupervised term extraction: linguistic (using patterns of combinations of parts-of-speech), statistical (calculating the frequency of a word or phrase in the text and its distribution), and hybrid methods (combination of the first two) [4,5,6].

Several unsupervised information extraction algorithms (meaning not only terms but also key phrases, aspects, named entities, etc.) use pre-trained word embeddings for semantic analysis. For example: SeNMFk-SPLIT for semantic topic extraction suitable for large corpora [7], SIFRank recognizes key phrases based on a pre-trained matrix [8], the article [9] uses word embeddings for keyword extraction and clustering. IBM approach uses linguistic approach and word embeddings to extract terms.

Basically, automatic term extraction algorithms can be divided into three main steps: (a) extracting candidates based on rules and linguistic patterns; (b) assign weights to candidates based on features; (c) selecting words/phrases into terms [10]. In candidate selection, the quality largely depends on the accuracy of the model in labeling part-of-speech and filtering against stop words. In the second and third stages, candidate ranking computes the frequencies of occurrence with respect to the text or corpus. The selection among candidate terms is done by setting the score threshold or choosing with the top ranked candidate [11]

1.1 Main Problems in Automatic Term Extraction

The main problems that arise in automatic term extraction are the selection of candidate term boundaries, data noise, word ambiguity [12, 13, 14], and others. In the article [12], the boundary detection of a multi-word expression is deduced by selecting the most frequent occurrence of a combination of words in the text. This approach also reduces the data noise among multi-word expressions by screening out some of the candidates. The problem of word ambiguity can be solved by using word embeddings, but this approach depends on the quality of the embedding generation model [15].

In the following, there are some existing approaches for automatic term extraction are presented. The researchers Heylen and De Hertog [16] of the Catholic University of Leuven explore different approaches to ATE, integrating linguistic analysis, statistical methods, and domain-specific knowledge. These approaches include linguistic analysis based on morphosyntactic patterns, statistical analysis using corpus frequency distributional methods using TF-IDF measures, contextual analysis using C-values and NC values, morphological analysis, and contrast comparisons between regional and reference corpora.

1.2 Improved Methods in Term Extraction

The authors of the following paper Zhang et al. [11] present a method that, according to their research, addresses two major limitations inherent in existing ATE methods: the lack of term extraction methods that consistently perform well across all domain domains and the use of unsupervised ATE methods without using additional available lexical resources. The researchers present a common AdaText method to improve the ranking of terms in various fields. They adapt the TextRank algorithm to work at the corpus level using domain-specific seed words or phrases to compute word scores in the target dataset. This method shows a consistent improvement in average accuracy across 10 advanced ATE algorithms when evaluated on two known datasets.

Antonio Šajatović et al. [1] discusses a variety of term extraction techniques including frequency methods, contextual analyses, reference corpora-based comparisons, topic modeling, Wikipedia-based methods, and reranking techniques. Each method makes its own unique contribution to the identification of terms in documents, reflecting the multifaceted nature of ATE research.

A study conducted by the authors of the paper Almuzaini and Azmi [17] addresses the challenge of annotating large texts efficiently and cost-effectively. They offer an unsupervised method of assigning multiple labels to text data. The authors adjusted the hyperparameters for the latent Dirichlet distribution (LDA) using Gibbs and variational Bayes methods. It is shown that the performance of the model is comparable to the annotations received from people using crowdsourcing. Analysis of the annotation showed a model consistency (machine and human) of 79.30% for the Arabic text. Their model shows good performance when dealing with class imbalances in the corpus where the number of documents in different categories is very different.

In Hanh Thi Hong Tran et al. [18], researchers classify ATE methods into machine learning and deep learning methods. Machine learning techniques typically involve preprocessing, feature generation, and term extraction using classifiers such as AdaBoost and Support Vector Machines. Deep learning methods use pre-trained vector representations of words (embeddings) or neural architectures for the full cycle of term extraction with good advances, including transformer-based models and multilingual learning techniques.

1.3 Vector Representation in Text Processing

The calculation of vector representations is used in the calculation of the distance between words, which determines the similarities and differences of words, so the accurate calculation of the vector affects the quality of text processing. Fusco and Antognini [19] described a CharEmb model that is able to compute context-aware embeddings but is 10 times faster than sentence encoders.

2. Methods and Materials

IBM's Approach to Extracting Terminology from IBM's High-Tech Domains. IBM's approach is a completely unsupervised annotator. Two kinds of potential terms are extracted: verbose expressions and single nouns. To select terms among the candidates for verbose expressions, you use Specificity estimates and topics based on the calculation of vector representations.

The Topic Score (TS) is computed as the cosine similarity between the embedding of a verbose expression and the embedding of the sentence containing it.

The specificity score (SP) is the average distance between the vector of a wordy expression and the vectors of the other candidates.

Expressions with higher specificity scores and topics correspond to more specific terms. In IBM's article under TS > 0.1 and SP > 0.05, a verbose expression was listed as a term.

Morphological analysis is used to filter single nouns. A word is promoted as a term provided that its lemma corresponds to at least one heading of a verbose expression or the number of subtokens is at least four.

Since IBM's approach is not available as open-source code, the unsupervised annotator has been reproduced and published on GitHub: *term-extraction-project/Unsupervised-Annotators.*

However, despite careful adherence to the descriptive methodology presented in the IBM article, there may be slight differences in the UA1 and IBM algorithms:

1. Part-of-Speech Tagging for Candidate Extraction: Both annotators utilize SpaCy for part-of-speech (POS) tagging to identify multiword expression candidates. The UA1 uses the "noun_chunks" function, but the IBM article only describes the composition of the phrase by part of speech and does not say which function was used.

Inclusivity of POS tags. The original IBM approach mentions utilizing adjectives, nouns, and proper nouns for candidate extraction. However, our evaluation indicates that limiting the extraction process to these POS tags caused UA1 to overlook significant terms associated with other POS tags such as 'PUNCT', 'ADP', and 'DET'.

2. Specificity Score Calculation: This article describes how to calculate the specificity score (SP) for multi-word expressions in a given context, but the definition of "context" remains vague. UA1 interpreted "context" to mean the immediate vicinity of the candidate expressions, including

only those identified as candidates. This interpretation may have narrowed the scope of analysis, potentially overlooking contextual relationships that could influence the specificity score.

Morphological analysis of nouns. IBM's approach does not specify which expressions are considered for comparison with the lemmas of single nouns. UA1 limited this check to expressions identified as terms in the specificity scoring phase, which may have constrained the pool of nouns upgraded to terms.

3. Software Library Versions: The UA1 implementation adhered to the use of libraries as described in the article [2]. However, the absence of specific version information for these libraries in [2] meant that UA1 utilized the most current versions available. Differences in library versions can lead to variations in algorithmic behavior and performance, suggesting that discrepancies between UA1's and the IBM approach's outcomes may partly stem from updates or changes in these software tools.

In general, all these tools and models were used in the implementation of UA1 as described in the IBM article.

IBM Approach Performance Evaluation Methodology. As a standard measure of UA1 annotator performance, the F1 score was used (1). This metric represents the harmonic mean between precision and recall. Precision measures the ratio of true positive (terms found) to all candidates. Recall is the ratio of true positive to all true terms.

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Presicion + Recall} \qquad (1)$$

To verify the accuracy of reproducing the IBM approach from the paper, the developed UA1 annotator was tested on the ACL-RD-TEC 2.0 database annotator section 1. It is this dataset that was used in the paper to verify the quality of term extraction. The results of IBM and the UA1 annotator are compared.

The UA1 annotator was tested on the ACTER dataset. The results are compared with those from the article [20] to determine the performance of term extraction.

3. Analysis of False Positives and False Negatives

For more detailed analysis of term extraction errors using the IBM approach, the cases of false positives and false negatives were analyzed on the English-language subsection “Wind” from the ACTER dataset. The choice of this subsection is due to its relatively small size, consisting of five documents, as well as its proximity to the topic of technology.

The following methods were used for the analysis: Confusion Matrix; Distribution of multi-word expressions (all candidates) by Topic score and Specific Score; Similarity score for false positive tokens and true terms.

Confusion Matrix showed the accuracy of the classification of terms and named entities by the UA1 annotator. Also, at this stage, there was definitely a number of true terms that were not included in the candidates.

The distribution of verbose expressions by topic score and specificity was demonstrated in 2 graphs: true positives and false positives, true negatives and false negatives.

A similarity score for false positive tokens and true terms revealed how close the annotator is to extracting true terms. It also helped in identifying the reasons for the incorrect definition of the boundaries of the term. To analyze the similarity of the two categories, the Jaccard Similarity score was applied.

4. Results and Discussion

UA1 Performance Evaluation. The quality of extraction of UA1 annotator terms is 44.8% as assessed by F1 on the annotator1 subsection of the ACL-RD-TEC 2.0 dataset. Compared to IBM's result (49.95%), UA1's result is 5.15% lower. Possible reasons for the difference are described in Section 3.1. The observed performance gap between UA1 and IBM's approach highlights the

complexity of extracting terms in technical domains and the crucial role of methodological details. But based on the results obtained, it can be argued that, in general, the method proposed by IBM has been successfully reproduced.

The test results of the UA1 annotator on the ACTER(en) database were almost equal to the NMF-based annotator, as shown in Table 1. In the Wind subsection, UA1 outperformed the NMF by 3.36%, but in the Equi subsection, it lost by 4.38%.

ACTER (en) sections	**F1 score, %**					
	UA1	**NMF**	**TF-IDF**	**Rake**	**Yake**	**TextRank**
Corp	24.3	25.7	11.0	21.6	10.8	17.7
Equi	28.9	33.3	13.7	24.9	22.3	26.0
Wind	29.5	26.1	12.3	22.8	5.9	13.9
HTFL	32.7	33.7	13.9	29.3	18.5	25.1

Table 1. Comparison of UA1 results with those of the article[20] on the acter data set

The relatively positive result in the Wind section is because there are only five documents in this subsection. NMF is sensitive to the number of input documents, and with a small number, this annotator will extract terms less well. An annotator based on IBM's approach does not depend on the number of input documents, as terms are extracted based on the comparison of candidates with each other or the candidate with the sentence from which they were extracted.

The Confusion Matrix is presented as Table 2, which also shows the percentage of multiword expressions and single nouns from all candidates.

The majority of all candidates are false positives (44.6%), of which 34.4% of all candidates are multiword expressions. IBM's approach selects candidates for wordy expressions rather than single nouns. As a result, there are more detections among multi-word expressions than individual nouns.

Confusion Matrix categories	**Multi-word**	**Single noun**	**All**
True Positive	11.3	2.9	14.2
False Positive	34.4	10.2	44.6
False Negative	0.2	8.0	8.2
True Negative	2.2	30.9	33.1

Table 2. Average distribution (in percentage) of extracted candidates by Confusion Matrix categories after term filtering by IBM method (excluding true terms not included in the candidates)

When filtering by Topic score and Specific score, a relatively small part of candidates among multi-word expressions is rejected. As shown in Fig. 1, true positives and false positives are almost impossible to cluster. Although it can be observed that true terms are concentrated closer to the upper right corner of the graph and false detections to the lower left corner, but this difference is insignificant. However, it means that if we increase the filtering bounds a little bit, then maybe it will reduce the number of false detections. Although there is a risk that a few terms will be among the false negatives.

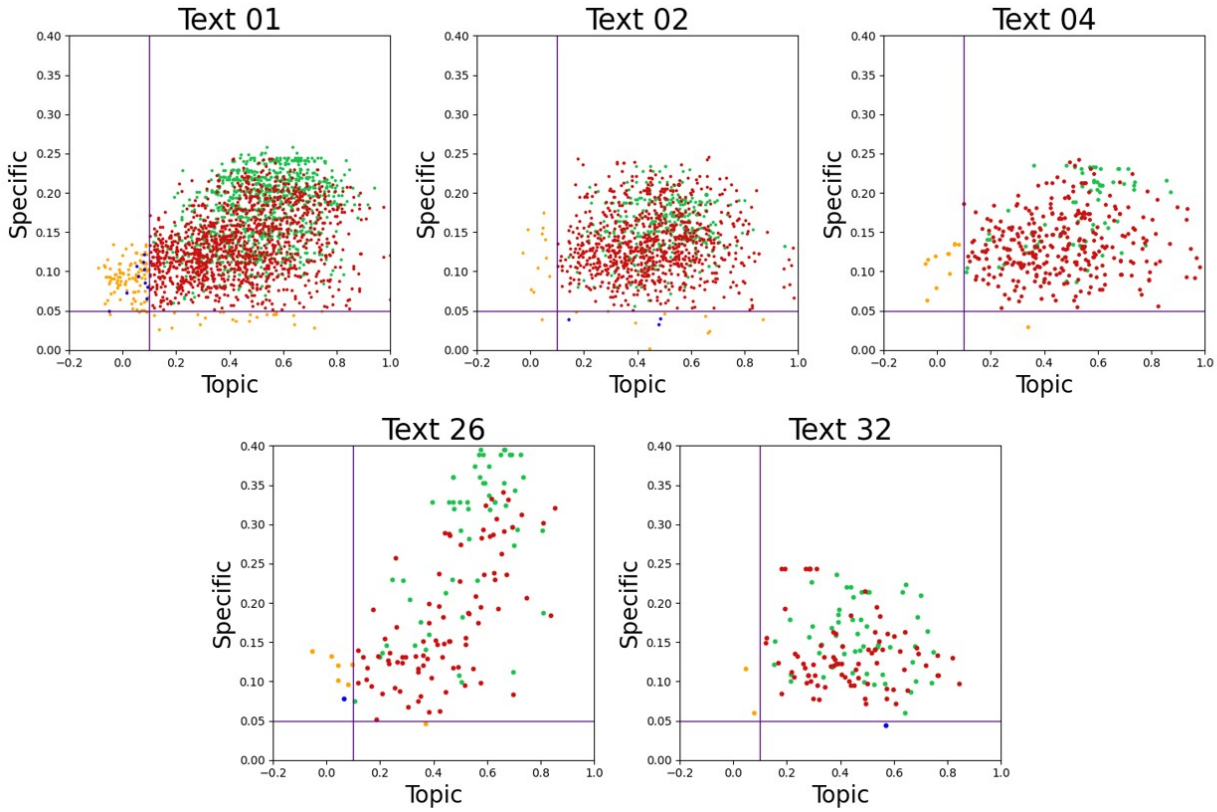


Figure 1. Distribution of multiword candidates by Specific score and Topic score. Green indicates true positives; red indicates false positives; orange indicates true negatives; blue indicates false negatives. The lines correspond to the threshold for filtering TS=0.1 and SP=0.05

Next is a comparative analysis of false positives and true terms tokens. On average, 43.4% of false positives are similar to 47.8% of true terms. 46.4% of false negatives have common words with false positives. The similarity between false positives and true terms, according to Jaccard similarity score, was 53.85%. Such indicators are due to the fact that the boundaries of candidates are incorrectly defined.

During the investigation of false positives and true terms, the following features of term extraction by the UA1 annotator were noticed. First, there were no multi-word expressions with the particle "of", which in turn is found in the true terms of the Wind section. Second named entities (in this case names of people) are extracted together with appeals (Pr., Dr., Mr., professor, etc.). Terms were also extracted with surplus adjectives such as "other", "same", "many", "usual". Adjectives in terms were usually a derivative of another part of speech (particularly a noun or verb). There are also difficulties in extracting names of countries and geographical objects. This result is related to the conditions for extracting candidates from the text. For example: extract nouns with all adjectives standing before it. However, not all adjectives preceding the noun will be part of the term. Therefore, defining the conditions for extracting candidates affects the quality of the annotator.

Conclusion

The performance of the annotator based on the IBM approach on the ACTER corpus has similar results to the NMF-based annotator. Also, this term extraction approach is less sensitive to document size than statistical models, which gives an advantage when extracting terms from relatively small corpora.

IBM's approach is much less likely to filter out multi-word expressions and most of the individual nouns are not filtered out. This trend is probably due to the fact that the same topic and subtoken specificity threshold was applied for the ACTER corpus as on the ACL-RD-TEC 2.0 corpus.

Specificity and topic scores depend heavily on the computation of vector representations for a multi-word expression. By improving the computation of embeddings for phrases and sentences, it will be possible to compute the specificity and topic of a multi-word expression more accurately. Further, by adjusting the specificity and topic threshold, candidate filtering can be more accurately tuned.

When extracting the candidates, 41.1% of the true terms were not among the candidates or had similar words with false positives. During the analysis, it was noticed that many terms contained adjectives derived from other parts of speech, and also did not contain adjectives in the superlative or comparative degree.

References

1. Šajatović A., Buljan M., Šnajder J., Bašić B. D. Evaluating Automatic Term Extraction Methods on Individual Documents // Association for Computational Linguistics. – 2019. – P. 149-154: https://doi.org/10.18653/v1/w19-5118
2. Fusco F., Staar P., Antognini D. Unsupervised term extraction for highly technical domains // arXiv (Cornell University). – 2022: https://doi.org/10.48550/arxiv.2210.13118
3. Bakarić M. B., Babić N., Matetić M. Application-based evaluation of automatic terminology extraction. International Journal of Advanced Computer Science and Applications // International Journal of Advanced Computer Science & Applications. – 2021. – Vol. 12, №.1: https://doi.org/10.14569/ijacsa.2021.0120103
4. Inkpen D., Paribakht T. S., Faez F., Amjadian E. Term Evaluator: A Tool for Terminology Annotation and Evaluation // International Journal of Computational Linguistics and Applications. – 2016. – Vol. 7, №2. – P. 145-165: https://ir.lib.uwo.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1043&context=edupub
5. Terryn A. R., Hoste V., Patrick D. M., Lefever E. TermEval 2020: Shared Task on Automatic Term Extraction Using the Annotated Corpora for Term Extraction Research (ACTER) Dataset // European Language Resources Association. – 2020. – P. 85–94: https://aclanthology.org/2020.computerm-1.12.pdf
6. Zhang L. Chinese technical terminology extraction based on DC-value and information entropy // Scientific Reports. – 2022. – Vol. 12, №1: https://doi.org/10.1038/s41598-022-23209-6
7. Eren M. E., Solovyev N., Bhattarai M., Rasmussen K., Nicholas C., Alexandrov B. S. SeNMFk-SPLIT: Large Corpora Topic Modeling by Semantic Non-negative Matrix Factorization with Automatic Model Selection // arXiv.org. – 2022: https://arxiv.org/abs/2208.09942
8. Sun Y., Qiu H., Zheng Y., Wang Z., Zhang C. SIFRANK: A new baseline for Unsupervised Keyphrase Extraction based on Pre-Trained Language Model // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 10896–10906: https://doi.org/10.1109/access.2020.2965087
9. Li X., Daoutis M. Unsupervised key-phrase extraction and clustering for classification scheme in scientific publications // National Conference on Artificial Intelligence. – 2021: http://ceur-ws.org/Vol-2831/paper2.pdf
10. Hazem A., Bouhandi M., Boudin F., Daille B. TermEval 2020: TALN-LS2N System for Automatic Term Extraction // International Workshop on Computational

Terminology (COMPUTERM). – 2020: https://aclanthology.org/2020.computerm-1.13.pdf
11. Zhang Z., Petrak J., Maynard D.Adapted TextRank for Term Extraction: A Generic Method of Improving Automatic Term Extraction Algorithms // Procedia Computer Science. – 2018. – Vol. 137 – P. 102-108: https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.09.010.
12. Anjum O., Al-Masri M.S., Xiong, J., Hwu W. PhraseScope: An effective and unsupervised framework for mining high quality phrases // In Society for Industrial and Applied Mathematics eBooks. – 2021. – P. 639-647: https://doi.org/10.1137/1.9781611976700.72
13. Hätty A. Automatic term extraction for conventional and extended term definitions across domains. – 2020: https://doi.org/10.18419/opus-11119
14. Borrelli D., Gongora-Svartzman G., Lipizzi C. Unsupervised acquisition of idiomatic units of symbolic natural language: An n-gram frequency-based approach for the chunking of news articles and tweets // PloS One. – 2020. – Vol. 15, №6: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234214
15. Charbonnier J., Wartena C. Using Word Embeddings for Unsupervised Acronym Disambiguation // Association for Computational Linguistics. – 2018. – P. 2610-2619: https://doi.org/10.25968/opus-1265
16. Heylen K., De Hertog D. Automatic Term Extraction // Handbook of Terminology. – 2015. – P. 203-22.
17. Almuzaini H. A., Azmi A.M. An unsupervised annotation of Arabic texts using multi-label topic modeling and genetic algorithm // Expert Systems With Applications. – 2022: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117384
18. Tran H. T. H., Martinc M., Caporusso J., Doucet A., Pollak S. The Recent Advances in Automatic Term Extraction: A survey // arXiv (Cornell University). – 2023: https://doi.org/10.48550/arxiv.2301.06767
19. Fusco F., Antognini D. Extracting Text Representations for Terms and Phrases in Technical Domains // Association for Computational Linguistics. – 2023. – P. 61–70: https://doi.org/10.18653/v1/2023.acl-industry.7
20. Nugumanova A., Akhmed-Zaki D., Mansurova M., Baiburin Y., Maulit A. NMF-based approach to automatic term extraction // Expert Systems With Applications. – 2022: https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117179

Aliya Nugumanova – Lecturer. Scientific Innovation Center Big Data and Blockchain, Astana IT University, 010000, Astana; e-mail: a.nugumanova@astanait.edu.kz

Aliya Kalykulova – Student. Department of Computing and Data Science, Astana IT University, 010000, Astana; e-mail: aliyakalykulova@mail.ru

Bauyrzhan Kairatuly – PhD Student. Department of Big Data and Artificial Intelligence, Al-Farabi Kazakh National University, 050000, Almaty; e-mail: bauyrjanesq@gmail.com

Kamilla Rakhymbek– Student. Laboratory of Digital Technologies and Modeling, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, 070000, Oskemen;e-mail: rakhymbekkamila@gmail.com

Abzal Kyzyrkanov – Student. Department of Computing and Data Science, Astana IT University, 010000, Astana; e-mail: abzzall@gmail.com

СЕКЦИЯ 4

Ақпараттық қауіпсіздік және деректерді қорғау: Ақпаратты қорғаудың программалық-техникалық құралдары. Криптография. Күрделі жүйелердің ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз етудің математикалық әдістері

Информационная безопасность и защита данных: Программно-технические средства защиты информации. Криптография. Математические методы обеспечения информационной безопасности сложных систем

Information security and data protection: Software and hardware means of information protection. Cryptography. Mathematical methods of information security of complex systems

СИММЕТРИЯЛЫ БЛОКТЫҚ КРИПТОАЛГОРИТМДЕР ҚҰРУ КОНЦЕПЦИЯСЫ

Дюсенбаев Д.С.
e-mail: dimash_dds@mail.ru
ҚР ҒЖБМ «Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты»
Ақпараттық қауіпсіздік зертханасы

Аңдатпа. *Бұл мақалада криптографиялық алгоритмдерді құруда ескеретін мәселелердің төңірегінде сөз қозғалады. Симметриялы блоктық шифрлау алгоритмдерді құруда негізгі екі мәселені қатар алып жүру керек, олар алгоритмнің криптобериктілігі мен есептеу қиындығы. Криптографиялық алгоритмдерді құрастыру барысында беріктілігін арттыруға бағытталған жұмыс нәтижесінде, алгоритмның жұмыс істеу жылдамдығы төмендеп кетуі, сондай-ақ, керсінше жылдамдығын арттырсақ беріктілігінен ұтылуымыз мүмкін. Мақалада осы сұрақтарды ескеріп симметриялы блоктық шифрлау алгоритмдерді құрудағы және олардың беріктілігін зерттеудегі тәжірбиелер мен ұсыныстар баяндалады.*

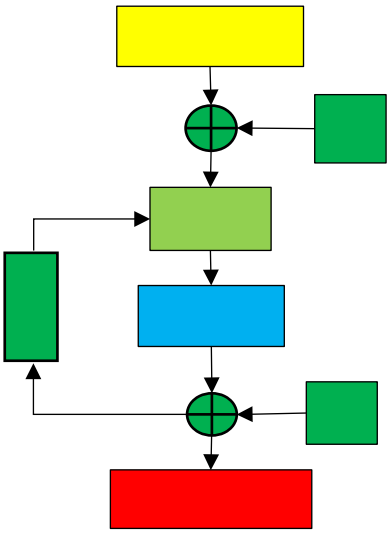
Кілт сөздер: *криптоалгоритм, криптобериктілік, алгоритмның есептеу қиындығы, симметриялы блоктық шифрлар.*

Кіріспе. Қазіргі заманауи симметриялы блоктық шифрлау алгоритмдері негізгі үш бөліктен (функциядан) тұрады деп қарастыруға болады. Бірінші, XOR операциясы раундтық кілттерді қосу процесінде орындалатын түрлендіру. Екінші, S-блок ауыстыруы – сызықтық емес байланысты қалыптастыруға бағытталған түрлендіру. Үшінші – матрицаға көбейту, сызықтық блок кодының тексеру матрицасы ретінде құрылымына байланысты максималды дисперсияны қамтамасыз етеді, сызықтық шашырау түрлендірулері ретінде SP желісі (SPN шифрлары) негізіндегі шифрларды құру кезінде қолданылады [1, 2].

Осы үш функцияның нәтижесінде бір раундтан кейінгі шығыс мәндерінің әрбір биті кіріс мәндерінің барлық биттерімен өрнектеледі, Бірақ ол жеткіліксіз, Бір немесе екі раундтардан кейін қолданылған түрлендірулердің ретін сақтай отырып шығыс мәндерін бөліктерге бөліп тастауға болады және осыны пайдаланып кілттерді қалпына келтіруге болатындай шабуылдар жүргізіледі. Үшінші раунттан бастап бөліктерге жіктеу мүмкіндігі күрт төмендеп, кілтті анықтау мүмкіндігінің ықтималдығы төмендейді. Осылай раунд өскен сайын кілтті табу ықтималдығы азая береді. Дәл осындай құрылымда қазіргі заманауи симметриялы блоктық шифрлау алгоритмдерін қарастыруғаболады. Мысалы, AES және «Кузнечик» алгоритмдерін жазып көрсететін болсақ, раундтық кілттерді қосу және S-блок ауыстыруы функциялары өз қалыпында қалады, тек олардан басқа түрлендірулерді MDS матрицасы түрінде көрсету мақалада баяндалады [3, 4].

Сол себепте, «AL04» және «AL04.2» алгоритмдерін құруда осы құрылымды ескердік, ең бастысы беріктілікті қамтамасыз ету. Ал егер алдымен жылдамдығын ойлайтын болсақ, онда жылдамдығын арттырғанмен беріктілігін арттыру үшін раундарын көбейтуге әкеліп тіреледі.

Симметриялы блокты криптоалгоритм құру



Әртүрлі симметриялы блокты криптоалгоритмдерді 1-суретте көрсетілген түрге әкелуге болады.

AES-128 алгоритмі үшін MDS матрицасы:

02 00 00 00 01 00 00 00 01 00 00 00 03 00 00 00
00 02 00 00 00 01 00 00 00 01 00 00 00 03 00 00
00 00 02 00 00 00 01 00 00 00 01 00 00 00 03 00
00 00 00 02 00 00 00 01 00 00 00 01 00 00 00 03
00 00 00 03 00 00 00 02 00 00 00 01 00 00 00 01
03 00 00 00 02 00 00 00 01 00 00 00 01 00 00 00
00 03 00 00 00 02 00 00 00 01 00 00 00 01 00 00
00 00 03 00 00 00 02 00 00 00 01 00 00 00 01 00
00 00 01 00 00 00 03 00 00 00 02 00 00 00 01 00
00 00 00 01 00 00 00 03 00 00 00 02 00 00 00 01
01 00 00 00 03 00 00 00 02 00 00 00 01 00 00 00
00 01 00 00 00 03 00 00 00 02 00 00 00 01 00 00
00 01 00 00 00 01 00 00 00 03 00 00 00 02 00 00
00 00 01 00 00 00 01 00 00 00 03 00 00 00 02 00
00 00 00 01 00 00 00 01 00 00 00 03 00 00 00 02
01 00 00 00 01 00 00 00 03 00 00 00 02 00 00 00

«Кузнечик» алгоритмі үшін MDS матрицасы:

cf 98 74 bf 93 8e f2 f3 0a bf f6 a9 ea 8e 4d 6e
6e 20 c6 da 90 48 89 9c c1 64 b8 2d 86 44 d0 a2
a2 c8 87 70 68 43 1c 2b a1 63 30 6b 9f 30 e3 76
76 33 10 0c 1c 11 d6 6a a6 d7 f6 49 07 14 e8 72
72 f2 6b ca 20 eb 02 a4 8d d4 c4 01 65 dd 4c 6c

6c 76 ec 0c c5 bc af 6e a3 e1 90 58 0e 02 c3 48
48 d5 62 17 06 2d c4 e7 d5 eb 99 78 52 f5 16 7a
7a e6 4e 1a bb 2e f1 be d4 af 37 b1 d4 2a 6e b8
b8 49 87 14 cb 8d ab 49 09 6c 2a 01 60 8e 4b 5d
5d d4 b8 2f 8d 12 ee f6 08 54 0f f3 98 c8 7f 27
27 9f be 68 1a 7c ad c9 84 2f eb fe c6 48 a2 bd
bd 95 5e 30 e9 60 bf 10 ef 39 ec 91 7f 48 89 10
10 e9 d0 d9 f3 94 3d af 7b ff 64 91 52 f8 0d dd
dd 99 75 ca 97 44 5a e0 30 a6 31 d3 df 48 64 84
84 2d 74 96 5d 77 6f de 54 b4 8d d1 44 3c a5 94
94 20 85 10 c2 c0 01 fb 01 c0 c2 10 85 20 94 01

«AL04» алгоритмін құру жолында төмендегідей матрицаның өлшеміне қатысты $GF\left(2^k\right)/p\left(x\right)$ сақинасының элементтері k = 3, 4, 5 болатындай үш матрица қарастырылды:

1. 16×16 матрицаның элементтері $\frac{GF\left(2^8\right)[x]}{p[x]=x^7+x^6+x^5+x+1}$ сақинасында жатады.

cf 98 74 bf 93 8e f2 f3 0a bf f6 a9 ea 8e 4d 6e
6e 20 c6 da 90 48 89 9c c1 64 b8 2d 86 44 d0 a2
a2 c8 87 70 68 43 1c 2b a1 63 30 6b 9f 30 e3 76
76 33 10 0c 1c 11 d6 6a a6 d7 f6 49 07 14 e8 72
72 f2 6b ca 20 eb 02 a4 8d d4 c4 01 65 dd 4c 6c
6c 76 ec 0c c5 bc af 6e a3 e1 90 58 0e 02 c3 48
48 d5 62 17 06 2d c4 e7 d5 eb 99 78 52 f5 16 7a
7a e6 4e 1a bb 2e f1 be d4 af 37 b1 d4 2a 6e b8
b8 49 87 14 cb 8d ab 49 09 6c 2a 01 60 8e 4b 5d
5d d4 b8 2f 8d 12 ee f6 08 54 0f f3 98 c8 7f 27
27 9f be 68 1a 7c ad c9 84 2f eb fe c6 48 a2 bd
bd 95 5e 30 e9 60 bf 10 ef 39 ec 91 7f 48 89 10
10 e9 d0 d9 f3 94 3d af 7b ff 64 91 52 f8 0d dd
dd 99 75 ca 97 44 5a e0 30 a6 31 d3 df 48 64 84
84 2d 74 96 5d 77 6f de 54 b4 8d d1 44 3c a5 94
94 20 85 10 c2 c0 01 fb 01 c0 c2 10 85 20 94 01

Кері матрица:

aa 9a 3b 8a 2c 2f 2a 8b 83 75 5d 55 da 1e 96 31
1f 6e fd 5a 23 94 46 d0 f9 f2 e9 36 e0 de 78 ee
5b 01 70 08 c7 16 74 95 b6 6a d8 4f 4e 6d 3f df
e8 03 0a 23 0b 15 f2 99 93 94 cc 20 cf 32 3e d3
36 5f 2f 0f 22 ed 10 cf b5 fb 54 b5 7a 41 8c ff
af 87 db 3a 82 17 7f 03 bc c0 da f6 a3 40 50 ac
aa 6e c1 50 0c bf 7c f2 22 27 f7 7e 6c 62 b3 7b
73 00 fc ca ed 85 e8 f3 9f 09 f9 45 0f 48 56 e8
91 05 d9 df ed 9d fe e0 c6 80 80 70 c1 0c 1e 89
d6 3e 5d 75 dc 27 92 bc ce ab cc ff c7 ec 53 a7
61 e6 8b f7 df e2 f4 7d 3f 5e a2 1d b0 a7 16 6c
4f 8c e9 fd 0b b1 46 9a ff 0a 2c 40 d9 42 45 bf
6b bd 0d 9d a1 c0 99 17 22 2b 08 ba 6b 48 75 20
9b 60 89 5e 77 ec ec e7 16 50 e0 3c 7c 1b 07 59

c1 e9 d8 90 25 29 9f e7 15 b6 b9 4a 4a c7 86 65
d2 9f 4a 39 42 5d d4 ea 04 97 c4 c4 8c cd 4c 6e

$p[x]=x^7+x^6+x^5+x+1$ (немесе 110100011 бит түрінде) модулі бойынша көбейтіледі.

2. Элементері $\frac{GF(2^{16})[x]}{p[x]}$, $p[x]=x^{15}+x^5+x^4+x^3+1$ (10000000000111001) сақинасында жататын 8×8 матрица:

cf98 74bf 938e f2f3 0abf f6a9 ea8e 4d6e
6e20 c6da 9048 899c c164 b82d 8644 d0a2
a2c8 8770 6843 1c2b a163 306b 9f30 e376
7633 100c 1c11 d66a a6d7 f649 0714 e872
72f2 6bca 20eb 02a4 8dd4 c401 65dd 4c6c
6c76 ec0c c5bc af6e a3e1 9058 0e02 c348
48d5 6217 062d c4e7 d5eb 9978 52f5 167a
7ae6 4e1a bb2e f1be d4af 37b1 d42a 6eb8

Кері матрица:

9903 370c c639 ac70 b042 692b 5e56 9e74
67d1 c358 d9be 7bd1 1545 72e7 e78a b074
9b45 7d82 7164 3a56 b35a fa9c b545 385c
49ba 00c7 34af 235d 5d30 dd8a 8574 01d0
e03d 08db 46b4 5ae9 8d6c f076 65d2 8222
419f ab5e a761 0179 89ac cc0a fef6 ba13
b9ef 21bb 9c69 ddbe 6477 fbc2 4037 1f18
21a0 1c1a b95d 06ff 797e eb3f 9243 42c8

3. Элементтері $GF(2^{32})/p(x)$, $p[x]=x^{31}+x^{10}+x^4+x^3+x^2+x+1$ (10000000000000000000010000011111) сақинасында жататын 4×4 матрица:

cf9874bf 938ef2f3 0abff6a9 ea8e4d6e
6e20c6da 9048899c c164b82d 8644d0a2
a2c88770 68431c2b a163306b 9f30e376
7633100c 1c11d66a a6d7f649 0714e872

Кері матрица:

11000808 8a56e2bf 4f026899 95217cd6
0a44ba68 246dd3b8 afbba1d0 d8db01c8
ac4aebf3 d3eb16f9 b46ba54c aa272937
e55f7b2c 047d0096 bbaf0802 4176e42a

XOR операциясы мен S-блок ауыстыру функциялары алгоритмнің жылдамдығына қатты әсер етпейді, ал көбейту амалы алгоритмнің қиындығын арттырады. Өйткені, көбейту амалының қиындығы қосу амалының есептеу қиындығының квадратына тең. Ал бізде ол матрицаны векторға көбейту болғандықтан қанша элемент матрицада болса, сонша көбейту амалы бар болғандықтан алгоритмның қиындығы артады. Сондықтан, мүмкіндігінше көбейтуден арылуды қажет етеді. Сол себепті матрицаны көбейтуді тек қосудан тұратындай және қосудың саны матрицаны көбейтудегі қосудың санынан матрица жолдарының санындай есеге кеміп түрлендірледі [5].

Векторды матрицаға көбейту

AL04.2 шифрлау алгоритміндегі сегіз байттан тұратын блокті матрицаға көбейтуді логикалық алу арқылы өрнектеуді қарастырамыз. Көбейту матрицасы $GF\left(2^8\right)/x^8+x^7+x^5+x+1$ сақинасы негізіндегі өлшемі 8 болатын векторлық кеңістікте орындалады.

8×8 өлшемді сандық M матрица шифрлауға пайдаланады:

cf 98 74 bf 93 8e f2 f3
6e 20 c6 da 90 48 89 9c
a2 c8 87 70 68 43 1c 2b
76 33 10 0c 1c 11 d6 6a
72 f2 6b ca 20 eb 02 a4
6c 76 ec 0c c5 bc af 6e
48 d5 62 17 06 2d c4 e7
7a e6 4e 1a bb 2e f1 be

8×8 өлшемді сандық M^{-1} кері матрица дешифрлауға пайдаланады:

04 13 1a 5e 91 7c 50 8f
3d d7 ad 8c a0 b0 52 0f
c2 a3 39 61 18 7c fc 82
5f 28 d5 b9 a2 06 c1 a3
52 e1 4b db 00 9e e3 62
fd 69 1c 53 56 ca 44 fb
aa 91 0c d8 c5 b8 d8 0e
da 47 b1 cf cb 31 5f e0

Мұндағы матрицаның элементтері оналтылық жүйеде көрсетілген $GF\left(2^8\right)$ өрісіндегі сандар.

Көбейтілетін вектор немесе сегіз байттан тұратын кіріс блогын және шығыс блогын сәйкесінше X = ($X_0, X_2, \ldots X_7$), Y= ($Y_0, Y_2, \ldots Y_7$) векторлары арқылы белгілейік. Сонда шифрлау үшін X $\otimes$ M = Y, ал дешифрлау үшін Y $\otimes$ M^{-1} = X формулаларын логикалық алу арқылы өрнектеу үшін, алдымен байттарды биттерге жіктеу арқылы X = ($x_0, x_2, \ldots x_{63}$), Y= ($y_0, y_2, \ldots y_{63}$) векторлар түрінде қарастырамыз. Мұндағы $\otimes$ - $GF\left(2^8\right)/x^8+x^7+x^5+x+1$ сақинасындағы көбейту. $\oplus$ - $GF\left(2^8\right)/x^8+x^7+x^5+x+1$ сақинасындағы қосу немесе информатикада оны логикалық алу деп атайды.

Мысал ретінде вектор мен матрицаның бірінші бағаны арасындағы векторлардың көбейтіндісі төменде өрнектелген:

$Y_0 = X_0 \otimes cf \oplus X_1 \otimes 6e \oplus X_2 \otimes a2 \oplus X_3 \otimes 76 \oplus X_4 \otimes 72 \oplus X_5 \otimes 6c \oplus X_6 \otimes 48 \oplus X_7 \otimes 7a$

мұндағы, $X_i, i=\overline{0,7}$ айнымалы ретінде қарастырамыз.

$GF\left(2^8\right)$ өрісінде айнымалыны санға көбейту.

$GF\left(2^8\right)$ өрісінде айнымалы мен санды көбейтуді биттік немесе екілік жүйеде разрядтық реттелген күйінде ашып көрсетеміз. $X_i=\left(x_{8i}, x_{8i+1}, x_{8i+2}, \ldots, x_{8i+7}\right)$, $Y_i=\left(y_{8i}, y_{8i+1}, y_{8i+2}, \ldots, y_{8i+7}\right)$, $i=\overline{0,7}$.

Енді жоғарыда айтылған мысалды екілік жүйеде жазып көрсетейік.

$$y_0 = x_0 \oplus x_3 \oplus x_5 \oplus x_6 \oplus x_7 \oplus x_9 \oplus x_{13} \oplus x_{16} \oplus x_{17} \oplus x_{19} \oplus x_{23} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31} \oplus x_{33} \oplus x_{35} \oplus x_{41} \oplus x_{45} \oplus x_{46} \oplus x_{47} \oplus x_{49} \oplus x_{50} \oplus x_{51} \oplus x_{52} \oplus x_{57} \oplus x_{59} \oplus x_{60} \oplus x_{61} \oplus x_{62}$$

$$y_1 = x_0 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4 \oplus x_8 \oplus x_9 \oplus x_{12} \oplus x_{13} \oplus x_{17} \oplus x_{18} \oplus x_{19} \oplus x_{22} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{32} \oplus x_{33} \oplus x_{34} \oplus x_{38} \oplus x_{39} \oplus x_{40} \oplus x_{41} \oplus x_{44} \oplus x_{48} \oplus x_{52} \oplus x_{55} \oplus x_{56} \oplus x_{57} \oplus x_{58} \oplus x_{62}$$

$$y_2 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_7 \oplus x_8 \oplus x_{11} \oplus x_{12} \oplus x_{15} \oplus x_{16} \oplus x_{17} \oplus x_{18} \oplus x_{21} \oplus x_{23} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{32} \oplus x_{33} \oplus x_{34} \oplus x_{38} \oplus x_{39} \oplus x_{40} \oplus x_{43} \oplus x_{51} \oplus x_{54} \oplus x_{56} \oplus x_{57} \oplus x_{61}$$

$$y_3 = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_5 \oplus x_7 \oplus x_9 \oplus x_{10} \oplus x_{11} \oplus x_{13} \oplus x_{14} \oplus x_{19} \oplus x_{20} \oplus x_{22} \oplus x_{23} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31} \oplus x_{32} \oplus x_{35} \oplus x_{37} \oplus x_{38} \oplus x_{39} \oplus x_{41} \oplus x_{42} \oplus x_{45} \oplus x_{46} \oplus x_{49} \oplus x_{51} \oplus x_{52} \oplus x_{53} \oplus x_{56} \oplus x_{57} \oplus x_{59} \oplus x_{61} \oplus x_{62} \oplus x_{63}$$

$$y_4 = x_0 \oplus x_1 \oplus x_2 \oplus x_4 \oplus x_6 \oplus x_7 \oplus x_8 \oplus x_9 \oplus x_{10} \oplus x_{12} \oplus x_{13} \oplus x_{18} \oplus x_{19} \oplus x_{21} \oplus x_{22} \oplus x_{23} \oplus x_{25} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31} \oplus x_{34} \oplus x_{36} \oplus x_{37} \oplus x_{38} \oplus x_{39} \oplus x_{40} \oplus x_{41} \oplus x_{44} \oplus x_{45} \oplus x_{48} \oplus x_{50} \oplus x_{51} \oplus x_{52} \oplus x_{56} \oplus x_{58} \oplus x_{60} \oplus x_{61} \oplus x_{62}$$

$$y_5 = x_0 \oplus x_1 \oplus x_3 \oplus x_5 \oplus x_6 \oplus x_7 \oplus x_8 \oplus x_9 \oplus x_{11} \oplus x_{12} \oplus x_{15} \oplus x_{17} \oplus x_{18} \oplus x_{20} \oplus x_{21} \oplus x_{22} \oplus x_{24} \oplus x_{25} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{31} \oplus x_{33} \oplus x_{35} \oplus x_{36} \oplus x_{37} \oplus x_{38} \oplus x_{40} \oplus x_{43} \oplus x_{44} \oplus x_{47} \oplus x_{49} \oplus x_{50} \oplus x_{51} \oplus x_{54} \oplus x_{57} \oplus x_{59} \oplus x_{60} \oplus x_{61}$$

$$y_6 = x_0 \oplus x_2 \oplus x_4 \oplus x_5 \oplus x_6 \oplus x_8 \oplus x_{10} \oplus x_{11} \oplus x_{14} \oplus x_{15} \oplus x_{16} \oplus x_{17} \oplus x_{19} \oplus x_{20} \oplus x_{21} \oplus x_{24} \oplus x_{26} \oplus x_{27} \oplus x_{28} \oplus x_{29} \oplus x_{30} \oplus x_{32} \oplus x_{34} \oplus x_{35} \oplus x_{36} \oplus x_{37} \oplus x_{42} \oplus x_{43} \oplus x_{46} \oplus x_{48} \oplus x_{49} \oplus x_{50} \oplus x_{54} \oplus x_{56} \oplus x_{58} \oplus x_{59} \oplus x_{60}$$

$$y_7 = x_0 \oplus x_1 \oplus x_4 \oplus x_6 \oplus x_7 \oplus x_{10} \oplus x_{14} \oplus x_{17} \oplus x_{18} \oplus x_{20} \oplus x_{26} \oplus x_{28} \oplus x_{30} \oplus x_{31} \oplus x_{34} \oplus x_{36} \oplus x_{42} \oplus x_{46} \oplus x_{47} \oplus x_{48} \oplus x_{50} \oplus x_{51} \oplus x_{52} \oplus x_{53} \oplus x_{58} \oplus x_{60} \oplus x_{61} \oplus x_{62} \oplus x_{63}$$

Дәл осылай қалған биттерді де өрнектеп аламыз. Қарастырып отырған аппараттық схема байтпен жұмыс істегендіктен, алған өрнегімізді төмендегідей сандық кестемен көрсетеміз (кесте 1,2).

Кесте 1 – 64×8 өлшемді сандық матрица шифрлауға пайдаланады:

№	Матрица жолдары	№	Матрица жолдары
1	bd a7 3e 66 ed 33 64 e4	1	78 64 43 d8 7 5f a3 fe
2	8f 82 1f 33 a7 c8 32 72	2	3c 32 f0 6c d2 fe 80 7f
3	96 41 de c8 82 64 19 39	3	1e 19 78 36 69 7f 40 ee
4	4b f1 6f 64 41 32 dd cd	4	f dd 3c 1b e5 ee 20 77
5	f4 a9 e6 32 f1 19 bf b7	5	d6 bf 1e dc a3 77 10 ea
6	7a 85 73 19 a9 dd 8e 8a	6	6b 8e f 6e 80 ea 8 75
7	3d 93 e8 dd 85 bf 47 45	7	e4 47 d6 37 40 75 4 eb
8	cf 98 74 bf 93 8e f2 f3	8	72 f2 6b ca 20 eb 2 a4

9	26 7 54 a ce 67 f5 42	9	85 9d 99 8c 77 45 b4 26
10	13 d2 2a 5 67 e2 ab 21	10	93 9f 9d 46 ea f3 5a 13
11	d8 69 15 d3 e2 71 84 c1	11	98 9e 9f 23 75 a8 2d d8
12	6c e5 db b8 71 e9 42 b1	12	4c 4f 9e c0 eb 54 c7 6c
13	36 a3 bc 5c e9 a5 21 89	13	26 f6 4f 60 a4 2a b2 36
14	1b 80 5e 2e a5 83 c1 95	14	13 7b f6 30 52 15 59 1b
15	dc 40 2f 17 83 90 b1 9b	15	d8 ec 7b 18 29 db fd dc
16	6e 20 c6 da 90 48 89 9c	16	6c 76 ec c c5 bc af 6e
17	b8 7b da db 60 2d 5e 4d	17	67 a5 aa 14 46 b f7 d3
18	5c ec 6d bc 30 c7 2f f7	18	e2 83 55 a 23 d4 aa b8
19	2e 76 e7 5e 18 b2 c6 aa	19	71 90 fb 5 c0 6a 55 5c
20	17 3b a2 2f c 59 63 55	20	e9 48 ac d3 60 35 fb 2e
21	da cc 51 c6 6 fd e0 fb	21	a5 24 56 b8 30 cb ac 17
22	6d 66 f9 63 3 af 70 ac	22	83 12 2b 5c 18 b4 56 da
23	e7 33 ad e0 d0 86 38 56	23	90 9 c4 2e c 5a 2b 6d
24	a2 c8 87 70 68 43 1c 2b	24	48 d5 62 17 6 2d c4 e7
25	9d f6 d2 8c 5e 52 86 c3	25	11 53 21 18 83 28 47 e6
26	9f 7b 69 46 2f 29 43 b0	26	d9 f8 c1 c 90 14 f2 73
27	9e ec e5 23 c6 c5 f0 58	27	bd 7c b1 6 48 a 79 e8
28	4f 76 a3 c0 63 b3 78 2c	28	8f 3e 89 3 24 5 ed 74
29	f6 3b 80 60 e0 88 3c 16	29	96 1f 95 d0 12 d3 a7 3a
30	7b cc 40 30 70 44 1e b	30	4b de 9b 68 9 b8 82 1d
31	ec 66 20 18 38 22 f d4	31	f4 6f 9c 34 d5 5c 41 df
32	76 33 10 c 1c 11 d6 6a	32	7a e6 4e 1a bb 2e f1 be

Кесте 2 – 64×8 өлшемді сандық кері матрица дешифрлауға пайдаланады:

№	Матрица жолдары	№	Матрица жолдары
1	e5 f1 18 f3 4e 57 dc b3	1	7f 95 44 8a 0 e1 36 aa

	a3 a9 c a8 27 fa 6e 88		
2	80 85 6 54 c2 7d 37 44	2	ee 9b 22 45 0 a1 1b 55
3	40 93 3 2a 61 ef ca 22	3	77 9c 11 f3 0 81 dc fb
4	20 98 d0 15 e1 a6 65 11	4	ea 4e d9 a8 0 91 6e ac
5	10 4c 68 db a1 53 e3 d9	5	75 27 bd 54 0 99 37 56
6	8 26 34 bc 81 f8 a0 bd	6	eb c2 8f 2a 0 9d ca 2b
7	4 13 1a 5e 91 7c 50 8f	7	a4 61 96 15 0 9f 65 c4
8	d9 6 17 90 1b c9 7f af	8	52 e1 4b db 0 9e e3 62
9	bd 3 da 48 dc b5 ee 86	9	cb e0 5e ff 9a d8 eb 8d
10	8f d0 6d 24 6e 8b 77 43	10	b4 70 2f ae 4d 6c a4 97
11	96 68 e7 12 37 94 ea f0	11	5a 38 c6 57 f7 36 52 9a
12	4b 34 a2 9 ca 4a 75 78	12	2d 1c 63 fa aa 1b 29 4d
13	f4 1a 51 d5 65 25 eb 3c	13	c7 e e0 7d 55 dc c5 f7
14	7a d f9 bb e3 c3 a4 1e	14	b2 7 70 ef fb 6e b3 aa
15	3d d7 ad 8c a0 b0 52 f	15	59 d2 38 a6 ac 37 88 55
16	b1 38 3c 89 bb 57 4b bf	16	fd 69 1c 53 56 ca 44 fb
17	89 1c 1e 95 8c fa f4 8e	17	d1 4e 8c a9 77 a0 a9 2f
18	95 e f 9b 46 7d 7a 47	18	b9 27 46 85 ea 50 85 c6
19	9b 7 d6 9c 23 ef 3d f2	19	8d c2 23 93 75 28 93 63
20	9c d2 6b 4e c0 a6 cf 79	20	97 61 c0 98 eb 14 98 e0
21	4e 69 e4 27 60 53 b6 ed	21	9a e1 60 4c a4 a 4c 70
22	27 e5 72 c2 30 f8 5b a7	22	4d a1 30 26 52 5 26 38
23	c2 a3 39 61 18 7c fc 82	23	f7 81 18 13 29 d3 13 1c
24	73 6e a5 20 b8 46 92 38	24	aa 91 c d8 c5 b8 d8 e
25	e8 37 83 10 5c 23 49 1c	25	a c8 49 bd 58 55 73 15
26	74 ca 90 8 2e c0 f5 e	26	5 64 f5 8f 2c fb e8 db

27	3a 65 48 4 17 60 ab 7	27	d3 32 ab 96 16 ac 74 bc
28	1d e3 24 2 da 30 84 d2	28	b8 19 84 4b b 56 3a 5e
29	df a0 12 1 6d 18 42 69	29	5c dd 42 f4 d4 2b 1d 2f
30	be 50 9 d1 e7 c 21 e5	30	2e bf 21 7a 6a c4 df c6
31	5f 28 d5 b9 a2 6 c1 a3	31	17 8e c1 3d 35 62 be 63
32		32	da 47 b1 cf cb 31 5f e0

Сондағы векторды матрицаға көбейтудің орнына жоғарыда көрсетілген матрицаның әрбір бағанын берілген көбейткіш векторының екілік жүйедегі разрядтық орындағы биттерге матрицаның жолдарына сәйкестендірілеп, логикалық көбейту амалы орындалады, немесе басқаша айтқанда, 1 қабылдайтың биттерге сәйкес жолдар ғана $GF\left(2^8\right)$ өрісінде баған бойынша қосамыз (XOR - логикалық алу), ал 0 қабылдайтың биттер ескерілмейді.

Қортынды

Мақаланың мақсаты, симметриялы блокты шифрлау алгоритмін құрастырушыларға көмекші құрал ретінде қарастыруға болады. Мақалада көрсетіліп отырған AL04.2 шифрлау алгоритміндегі түрлендірудің кемшілігі жылдамдығын 8 есе арттырғанмен, қажет ететін жадының көлемін де сонша есе өсіріп аламыз. Сондықтан, компьютердің жадысын, есептеу қиындығын және алгоритм беріктілігін ескеріп алгорит құруда қолданатын түрлендіруді келесі мақалаға қарастырамыз.

Алғыс. Ғылыми-зерттеу жұмысы BR24993052 «Ресурстары шектеулі жүйелердегі ақпаратты қорғау үшін криптографиялық алгоритмдерді әзірлеу және зерттеу, олардың беріктігін бағалау» ҚР БҒМ ҒК мақсатты нысаналы қаржыландыру жобасы аясында жүргізілді.

Әдибеттер

1. Сақан К.С., Алғазы К.Т., Дюсенбаев Д.С., «О некоторых способах улушения производительности вычисления блока Mixer2 алгоритма шифрования Qamal», Вестник КазНИТУ №4, 2020., - стр.492-499.

2. Гатченко Н.А., Исаев А.С., Яковлев А.Д. «Криптографическая защита информации» – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 142с.

3. Camel Tanougast, Progress in Data Encryption Research. - Nova Science Publishers Inc, - 2013. – 158p.

4. Ященко В. В., Введение в криптографию, 4-е изд., доп. М.: МЦНМО, 2012. – 348 с.

5. Kapalova N, Nyssanbayeva S., Varennikov A., Dyusenbayev D., Sakan K. Higher professional and postgraduate training of information security specialists. Global Journal of Engineering Education, Australia, 2022. V.24, No.3, pp. 232–238. Available at: http://wiete.com.au/journals/GJEE/Publish/vol24no3/10-Sakan-K.pdf. [Accessed: 13.01.2024]

Дюсенбаев Дилмуханбет Самуратович – инженер программист, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасы, ҚР ҒЖБМ «Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты»; 050000, Алматы; e-mail: dimash_dds@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕДЕКЛАРИРОВАННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА АППАРАТНОМ УРОВНЕ И СПОСОБЫ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ

А.Б. Батыргалиев[1], О.А. Лизунов[1,2]
[1]Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Казахстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Казахстан

Стремительное развитие средств информатизации и повсеместное их внедрение в различные сферы жизнедеятельности привело к возникновению новых угроз, одной из которых являются недекларированные возможности, реализованные на аппаратном уровне.

В данной статье рассматриваются таксономия аппаратных закладок, этапы производственного цикла интегральных микросхем, классификация и методы обнаружения контрафактной продукции, а также основные способы обнаружения аппаратных закладок. Исследование в данной области являются актуальными и важными, так как недекларированные возможности могут нести серьезную угрозу безопасности государства.

Ключевые слова: недекларированные возможности, аппаратные закладки, интегральные микросхемы, контрафакт, электронные устройства, нормативно-правовая база.

Введение

Развитие информационно-коммуникационных технологий и повсеместное внедрение их в различные сферы жизнедеятельности привело к расширению ландшафта угроз информационной безопасности. В этой связи, в Республике Казахстан, как и во многих других государствах, уделяется пристальное внимание обеспечению информационной (кибер)безопасности и разработке соответствующих нормативных правовых актов. При рассмотрении угроз информационной безопасности основное внимание специалистов сосредоточено на программном обеспечении и в меньшей степени на аппаратно-программном и аппаратном уровне. И конечно, большинство киберугроз, с которыми сталкиваются государственные и частные организации, происходят за счет уязвимостей в программном коде. Данные уязвимости возникают за счет ошибок или недоработок, допущенных разработчиками при написании программного кода или специально внедренными программными закладками, которые представляют собой недекларированные возможности. Необходимо отметить, что аппаратно-программные и аппаратные недекларированные возможности представляют не меньшую опасность, а в какой-то степени и большую, потому что уровень привилегий, который могут получить злоумышленники при эксплуатации данных уязвимостей, позволяет обойти практически все используемые средства защиты и нанести серьезный ущерб. При рассмотрении аппаратно-программного уровня подразумевается так называемая «прошивка» или встроенное программное обеспечение, которое представляет собой программу или набор инструкций, установленных на электронном устройстве. Данный уровень является промежуточным, находящимся между программной и аппаратной частью вычислительной системы. Если провести сравнительный анализ привилегий, которыми обладает аппаратная часть, встроенное и прикладное программное обеспечение, то получается высокий, средний и низкий [1]. Производители интегральных микросхем (ИМС) при производстве не

могут предусмотреть на несколько лет вперед логику работы электронных устройств, поэтому для этих целей используются возможности встроенного программного обеспечения, которое позволяет добавить необходимую логику работы устройству через обновление и тем самым расширить его возможности. К минусам такого подхода можно отнести возможности внедрения программных закладок.

В сообществе специалистов информационной (кибер)безопасности мнение о существовании аппаратных закладок разделилось. Одни утверждают, что аппаратных закладок не существует, а выявленные недекларированные возможности вызваны ошибками, допущенными на одном из этапов производства ИМС [2]. Другие утверждают, что аппаратные закладки специально внедряются на одном из этапов производства. В пользу существования аппаратных закладок можно привести в качестве примера один из первых стандартов Министерства обороны США «Критерии определения безопасности компьютерных систем» («Оранжевая книга») в котором говорится о необходимости периодической проверке корректности функционирования аппаратных и программных компонентов доверенной вычислительной базы. В DARPA Министерства обороны США в рамках программы «Целостности и надежности интегральных схем» (IRIS) проводились исследования по проверке надежности и функциональных возможностей цифровых, аналоговых и смешанных микросхем, учитывая ограниченные эксплуатационные характеристики [3]. Также, DARPA инициировало программу под названием «Доверенные интегральные микросхемы» (Trust of Integrated Circuits) цель которой заключалась в разработке технологий для нахождения аппаратных закладок в ИМС [4]. Помимо этого, Агентством национальной безопасности США проводились разведывательные операции с использованием большого арсенала программных и аппаратных закладок, которые внедрялись в программное обеспечение, и аппаратную часть устройств. В открытых источниках приводится большой перечень программных и аппаратных закладок, внедренных
в сетевое оборудование, межсетевые экраны, жесткие диски, сервера и оборудование беспроводных сетей известных производителей, таких как: Cisco, Huawei, Juniper, Dell, HP, Western Digital, Seagate, Maxtor и Samsung [5].

В связи с увеличением количества компаний, производящих микрочипы и полупроводниковые устройства, и расширяющимся разделением этапов производства ИМС между компаниями, возникает большая опасность внедрения аппаратных и программных закладок. Развитие таких направлений как робототехника, автомобилестроение, IoT, вооружения и военной техники происходит в основном за счет совершенствования микроэлектроники, которая, как было отмечено выше, потенциально может являться носителем недекларированных возможностей, через использование которых может быть нанесен непоправимый урон.

Таким образом, исследование методов выявления недекларированных возможностей, реализованных на аппаратном уровне, имеет критически важное значение в современном мире технологий.

1. Угрозы, исходящие от аппаратных закладок

Для того, чтобы определить угрозы, которые могут исходить от недекларированных возможностей, внедренных на аппаратном уровне, необходимо рассмотреть таксономию аппаратных закладок и этапы производственного цикла ИМС, представленные на рисунках 1 и 2 соответственно [6].

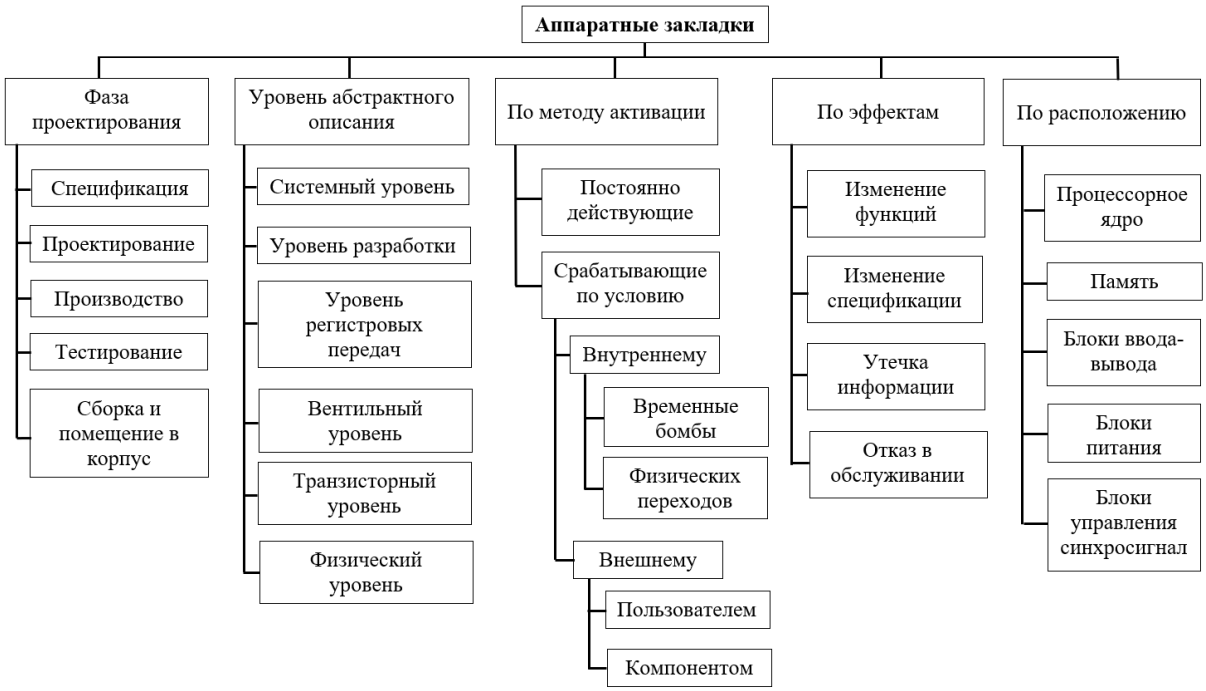


Рисунок-1. Таксономия аппаратных закладок

Этапы производственного цикла ИМС представляют собой последовательность действий, направленных на получение конечного продукта.

Производство ИМС условно можно разделить на три этапа:

1. Проектирование.
2. Производство.
3. Тестирование.

Потенциально на каждом из этих этапов возможно внедрение аппаратных закладок.

Согласно результатам исследований, проведенных DARPA в рамках программы «Trust in Integrated Circuits», наибольшую опасность внедрения аппаратных закладок представляют этапы проектирования и производства.

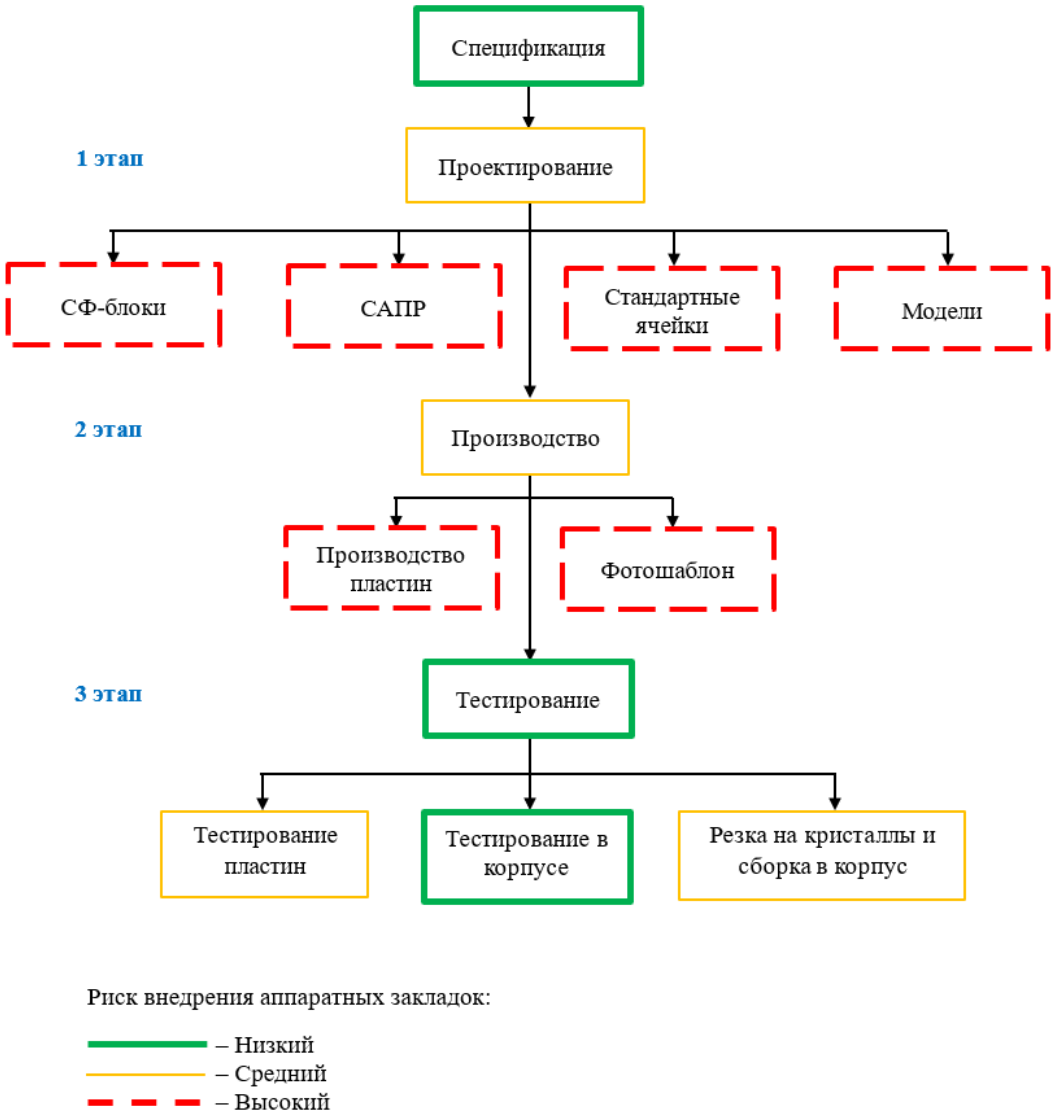


Рисунок-2. Этапы производственного цикла ИМС

Не меньшую угрозу представляет контрафактная продукция, которая обладает меньшей надежностью по сравнению с оригинальной, а также может содержать недекларированные возможности. Проблемы с контрафактной продукцией и большие ее объемы привели к разработке стандартов, в которых представлены практические рекомендации по борьбе с этим явлением в виде методических рекомендаций. Рассмотрим некоторые из них [7-10]:

1. СТ РК ISO 9001-2016 «Системы менеджмента качества. Требования».
2. ГОСТ Р 57880-2017 «Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Изделия электронные. Предотвращение получения, методы обнаружения, сокращение рисков применения и решения по использованию фальсифицированной и контрафактной продукции».
3. IDEA-STD-1010-B «Приемлемость электронных компонентов, распространяемых на открытом рынке».
4. AS5553D «Поддельные электрические, электронные и электромеханические детали; предотвращение, обнаружение, смягчение последствий и утилизация».
5. AS6081 «Поддельные электронные детали».

Рисунок-4. Методы обнаружения контрафакта по стандарту AS 5553

Проведенный анализ действующей нормативной правовой базы [12-16] и национальных стандартов свидетельствует об отсутствии и их недостаточности в части, касающейся аппаратных закладок и контрафактной продукции, соответственно.

Необходимо отметить, что большинство методов обнаружения контрафакта могут быть использованы для выявления аппаратных закладок.

2. Способы исследования электронных устройств на наличие аппаратных закладок

По способу исследования электронных устройств выделяют разрушающие и неразрушающие методы обнаружения аппаратных закладок. В свою очередь, неразрушающие методы обнаружения делятся на инвазивные и неинвазивные [17]. Перед проведением исследования электронных устройств необходимо изучить всю доступную техническую документацию по ним.

Под разрушающим методом исследования понимается полное разрушение ИМС, приводящее ее в негодность.

Инвазивными называются методы, осуществляемые путем физического доступа к устройству для получения различного рода информации.

Неинвазивными называются методы, которые используют только информацию и данные, доступные извне, то есть не требуют физического доступа к устройству и могут быть проведены удаленно.

Как известно, проектные нормы в микроэлектронике указываются в нанометрах (нм), при этом условно выделяют три уровня проектных норм. Первый (базовый) уровень – это номенклатура чипов на 90 нм и более. Второй (переходный) уровень – 45-90 нм. Третий (продвинутый) уровень – это архитектура чипов с проектными нормами ниже 45 нм. Индустрия микроэлектроники продолжает стремиться к миниатюризации и увеличению производительности, что приводит к постоянному развитию и внедрению новых технологических узлов [18]. Это приводит к тому, что проведение инвазивных исследований электронных устройств в основном является затруднительным, так на рынке микроэлектроники преобладает третий уровень. В связи с этим, наиболее предпочтительным и доступным методом исследования электронных устройств является неинвазивный.

К разрушающим методам исследования электронных устройств относится декапсуляция (лазерная, химическая, механическая и плазмохимическая), то есть снятие корпуса электронного компонента.

Основными методами и средствами, используемыми для проведения инвазивного исследования электронных устройств, являются:

1. Некоторые физические и электрические методы обнаружения контрафакта.
2. Профессиональные инструменты (отвертки, паяльная станция с феном и др.).
3. Проведение электротехнических измерений.

4. Электронно-лучевой тестер (фокусированный ионный пучок).

Основными методами и средствами, используемыми для проведения неинвазивного исследования электронных устройств, являются:

1. Лазерный сканирующий микроскоп.
2. Вторичная ионная масс-спектрометрия.
3. Электронный микроскоп.
4. Оптический контроль.
5. Рентгеновский контроль.
6. Компьютерная томография.
7. Анализ побочных электромагнитных излучений.
8. Некоторые физические методы обнаружения контрафакта.

Необходимо отметить, что методы и подходы, используемые при проведении реверс-инжиниринга, могут быть применены к разрушающим и неразрушающим методам обнаружения аппаратных закладок.

В итоге, исходя из задач, стоящих перед проведением исследования электронных устройств, представленные выше методы и средства могут использоваться как по отдельности, так и комплексно.

3. Заключение

Аппаратные закладки могут нести серьезную угрозу информационной безопасности. Исследования электронных устройств на наличие недекларированных возможностей позволит параллельно решать задачу выявления контрафактной продукции, которая также может нанести непоправимый урон, особенно на критически важных объектах информационно-коммуникационной инфраструктуры.

Проведенный анализ действующей нормативной правовой базы и национальных стандартов свидетельствует об отсутствии и их недостаточности в части, касающейся аппаратных закладок и контрафактной продукции, соответственно.

Благодарность. Работа выполнена в рамках проекта программно-целевого финансирования BR24993052 «Разработка и исследование криптографических алгоритмов для защиты информации в системах с ограниченными ресурсами и оценка их стойкости» КН МНВО РК.

Список литературы

- Аппаратные и программные решения: что опаснее? – https://www.osp.ru/os/2021/01/13055832 (24.09.2024).
- Аппаратные закладки под микроскопом. Обнаружение. –https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/724340 (24.09.2024).
- Integrity and Reliability of Integrated Circuits (IRIS). – https://www.darpa.mil/program/integrity-and-reliability-of-integrated-circuits (25.09.2024).
- Trusted Integrated Circuits (TRUST). – https://www.darpa.mil/program/trusted-integrated-circuits (25.09.2024).
- Catalog Advertises NSA Toolbox. – https://www.spiegel.de/international/world/catalog-reveals-nsa-has-back-doors-for-numerous-devices-a-940994.html (25.09.2024).
- Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Программные и аппаратные трояны – способы внедрения и методы противодействия. – Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2019 г., – 688 с.
- СТ РК ИСО 9001-2016. «Системы менеджмента качества. Требования». – https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293729/4293729769.pdf *(26.09.2024)*.

- ГОСТ Р 57880-2017. Система защиты от фальсификаций и контрафакта. Электронные изделия. Предотвращение получения, методы обнаружения, сокращение рисков применения и решения по использованию фальсифицированной и контрафактной продукции. – https://meganorm.ru/Data2/1/4293741/4293741553.pdf *(26.09.2024).*
- SAE Standards (AS5553D, AS6081, ARP6178A). – https://www.sae.org/standards *(26.09.2024).*
- IDEA-STD-1010: Acceptability of Electronic Components Distributed in the Open Market. – https://idofea.org/idea-std-1010-inspection-standard *(26.09.2024).*
- Федорец В.Н., Белов Е.Н., Балыбин С.В. Технологии защиты микросхем от обратного проектирования в контексте информационной безопасности. – Москва: Техносфера, 2019 г., – 216 с.
- Закон РК «О товарных знаках, знаках обслуживания, географических указаниях и наименованиях мест происхождения товаров». –https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z990000456_ (01.10.2024).
- Закон РК «О защите прав потребителей». – https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z100000274_ (01.10.2024).
- Закон РК «Об авторском праве и смежных правах». – https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z960000006_ (01.10.2024).
- Уголовный кодекс Республики Казахстан. – https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000226 (01.10.2024).
- Кодекс РК «Об административных правонарушениях». – https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000235 (01.10.2024).
- Hardware Trojans – Prevention, Detection, Countermeasures. – https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA547668.pdf (30.09.2024).
- Микроэлектроника России: от дефицита к технологической независимости. – *https://yakov.partners/upload/iblock/f25/lk5ly2orhij0b1f89ivy1rbe801dsd1m/ microelectronics_in_russia.pdf (30.09.2024).*

Батыргалиев Асхат Болатканович – PhD, ассоциированный профессор. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, Казахстан; 050013, Алматы; e-mail: askhat.b.b@gmail.com

Лизунов Олег Александрович – магистрант 2 курса. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева; 050013, Алматы; инженер-программист. Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК; 050010, Алматы; e-mail: o.lizunov@bk.ru

NEW ASYMMETRIC ALGORITHMS ON THE ELLPTIC CURVE

Shukhratjon Umarov, Temurbek Abdullaev, Nurillo Mamadaliyev, Bekzod Umarov,Ulmasbek Karimov

Fergana branch of the Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana, Uzbekistan

Fergana State University, Fergana, Uzbekistan

[a)]Corresponding author: sh.umarov81@mail.ru

Annotation*.The article explores solutions to the problems of correctly applying the complexity of adding elliptic points with rational coordinates based on asymmetric crypto algorithms. As an object of the application, encryption and electronic digital signature algorithms are considered. New algorithms for encryption and electronic digital signature on an elliptic curve are proposed. The compact software of the algorithm for determining the order of a given base point is given in the algorithmic.*

Keywords: *elliptic curve, asymmetric crypto algorithm, point with rational coordinates, encryption algorithm, electronic digital signature algorithm, base point, base point order.*

Introduction

The article [7] studies the issues of solving the problems of determining and calculating the parameters of an elliptic curve (EC) for the correct implementation of asymmetric crypto algorithms. The condition for choosing the coefficients is given by the sign of the discriminant value of a cubic equation. Using Viet's formulas for the roots of polynomials, a method for choosing the coefficients is given. The interval for choosing the base point is specified. Formulas for the tangent to the base point and finding the coordinate of the intersection point of the tangent with the EC are determined. A recurrent formula for adding the base point to other EC points with rational coordinates is obtained. The condition determining the order of the base point is specified [1-4].

All of these listed forms the basis for the development and implementation of asymmetric algorithms on EC.

Asymmetric algorithms, constructions and entities can be found in many sources: those already considered classical [11-19] and modern. Asymmetric cryptographic algorithms are constructed on the basis of computational complexities: decomposition of a sufficiently large natural number into prime factors, discrete logarithm taking on a finite field with a sufficiently large characteristic, addition of points with rational coordinates of the EC on a finite field [6,14,15,16,19].

In the rule for determining the addition of points of elliptic curves, the straight line passing through the points $P(x_1, y_1)$ And $Q(x_2, y_2)$ EC, does not always intersect with the third point of the elliptic curve. For example, a straight line passing through the points $P(x_1, y_1)$ And $Q(x_1, -y_1)=R$ the elliptic curve will be perpendicular with respect to the axis Ox, therefore, it does not intersect the elliptic curve with the third point of the elliptic curve.

It is assumed that the straight line intersects the elliptic curve at infinity and all points of infinity are considered to be united into one point E, which is taken as zero. That is, all points of infinity with respect to a certain addition of points of the elliptic curve have the properties of a zero value in the addition of real numbers. Indeed, the straight line passing through the points $P(x_1, y_1)$ And $Q(x_1, -y_1)$ elliptic curve is perpendicular relative to the axis and it is directed to the

point Ox - infinity without intersecting the elliptic curve E. If we consider the addition of $E + P(x_1, y_1)$ points E - infinity and $P(x_1, y_1)$, then the line passing through these points intersects the elliptic curve at the point $Q(x_1, -y_1)$, its symmetric transformation relative to the axis Ox is the point $P(x_1, y_1)$, i.e. $E + P(x_1, y_1) = P(x_1, y_1)$.

By direct calculation one can verify that the addition of points of an elliptic curve forms an Abel group, i.e. for points a, b, c the following properties are true for an elliptic curve:

1) Commutativity $a+b=b+a$;

2) Associativity $(a+b)+c=(b+c)+a$;

3) There is a zero element $a+E=a$;

4) There is an inverse (opposite) element $a+(-a)=E$.

Point $(X_G, Y_G)=G$ an elliptic curve has order q if for all natural numbers m such that $1 \le m < q$ the inequality holds $mG \neq E$ and only $qG=E$.

In the development of cryptographic algorithms on an elliptic curve, points are used G that have the following features:

- Coordinates (X_G, Y_G) of a point G with rational numbers;
- The number q representing the order of this point is preferably large enough and a prime number.

In the article [7] an attempt was made to develop an effective method for finding a point with coordinates of rational numbers, preferably of high prime order, on an elliptic crooked.

Statement of the problem. Analysis **of** cryptographic algorithms, as is known, allows us to formulate relatively algorithms on the EC are the following: determining the coefficients of the EC itself, performing an operation on a finite field with a characteristic preferably of a prime number, finding a base point with rational coordinates of the order of a prime number, complex calculations related to the specifics of the algorithm model. In the article [7], these issues are investigated and the problems of determining and calculating the parameters of the EC for the correct implementation of asymmetric algorithms are solved.

In the proposed article, using the results of article [7], the issues of developing asymmetric encryption algorithms and EDS on EC are solved. For direct demonstration of the obtained results, new asymmetric encryption algorithms and electronic digital signature (EDS) on EC are proposed.

Solution to the problem. We Let us assume that, using the results of the study in article [7], the required EC and base point with rational coordinates are determined. An elliptic curve can be chosen in the form $y^2=x^3-111x-110$ that intersects the *OX axis* at points $(x_1;0)=(-10;0)$, $(x_2;0)=(-1;0)$, $(x_3;0)=(11;0)$, according to Viet's theorem there are places: $x_1+x_2+x_3=0$,

$x_1x_2+x_1x_3+x_2x_3=p=-111$ and $x_1x_2x_3=-q=110$. The base point on it can be determined: $P(x_0,y_0)=(-3;\ 14)$, since $-\sqrt{-\frac{p}{3}}=-\sqrt{-\frac{(-111)}{3}}=-\sqrt{37}<-3<x_2=-1$, therefore

$$(y_0)^2=(-3)^3-111(-3)-110_{=}-27+333-110=333-137=196,y_0=14.$$

By direct calculation one can verify that for $p=-111$ and $q=-110$ the EC invariant [6, 8-11]: in the corresponding choice of the characteristics $m>3$ of the finite field the conditions $J(E)\neq 0$ and are satisfied $J(E)\neq 1728$.

Below, as a demonstration of the application of the obtained results, the source code of the program in the Borland language is given. C ++Builder 6 base point order calculation algorithm $P(x_0,y_0)=(-3;\ 14)$ on the selected elliptic curve $y^2=x^3-111x-110$.

It should be noted that there are (published) several types of models of digital signature algorithms on electronic digital signatures [5, 7-10], but according to the observations of the authors of this article, few or no encryption algorithms on electronic digital signatures have been published in the open press.

The following asymmetric encryption algorithm is proposed

The one-way function based on the complexity of calculating the operation of adding EC points with rational coordinates on a finite field, according to which the open and corresponding closed keys of the asymmetric algorithm are developed, has the form $Q=[d]P=(x_Q,y_Q)$. Here $P=(x_0,y_0)$ is a known base point of order n - large enough at the user's discretion, d - unknown number from the area $0<d<n$, which is the secret key of the recipient of the encrypted message. The public key $Q=(x_Q,y_Q)$ of the recipient of the encrypted message, with which the encryption is performed. The public key is known to all network users, and each secret key is known only to its owner.

The encryption model is expressed by the following transformations

The sender of the secret message selects a random number k that satisfies the condition $0<k<n$, then calculates $[k]P=T=(x_T,y_T)$ and $[k]Q=F=(x_F,y_F)$, where is $Q=(x_Q,y_Q)$ the public key of the recipient to whom the secret (encrypted) message is addressed. Further denoted by, $y=[k]P(\mathrm{mod}\,l)=(x_T,y_T)\mathrm{mod}\,l$ and are calculated $y_1=M\oplus x_F(\mathrm{mod}\,l)$ or $y_2=M\oplus y_F(\mathrm{mod}\,l)$, where *l* is a known sufficiently large prime number determined by the value of each plaintext block being encrypted. The pair $(y_i,y)=C$ - the encrypted message is sent to the recipient over an open communication channel, where $i=1$ or $i=2$ at the user's discretion.

In general, instead of surgery ⊕-XOR can be used with another logical operation or table t ransformation , which ensures cryptographic stability of the transformation [2].

The decryption model includes the following transformations

The recipient of the encrypted message, with his secret key *d* known only to himself, computes $[d]y=[d]T=[d][k]P=[dk]P=W=(x_W, y_W)$, also $w_1=x_W \bmod l$ or $w_2=y_W \bmod l$. Then, by transforming $(w_i \oplus y_i) \bmod l=M$, where $i=1$ or $i=2$, the plain message is obtained.

As you can see, decryption is performed by the inverse operation of the inverse used in encryption.

Correctness of the algorithm is established with the following relationships:

$$[d]y=[d]T=[d][k]P=[dk]P=W=(x_W, y_W)=(x_F, y_F),$$

also $w_1=x_W \bmod l=x_F \bmod l$ or $w_2=y_W \bmod l=y_F \bmod l$.

Because

$(w_1 \oplus y_1) \bmod l=(x_F \oplus M \oplus x_F) \bmod l=M$ And $(w_2 \oplus y_2) \bmod l=(y_F \oplus M \oplus y_F) \bmod l=M$.

Thus, the correctness of the proposed encryption algorithm is proven.

The proposed algorithm of the digital signature

Here we propose an algorithm for digital signature resistance, which is based on a combination of complexities: factorization of a sufficiently large number into prime factors, calculation of the discrete logarithm on a finite field of characteristics of a sufficiently large number, and execution of an operation on points with rational coordinates of the EC.

To do this, the following steps are carried out: generation of public and corresponding secret keys based on the listed complexities. At the beginning the following are determined:

1) e-public and d-secret keys from the comparison *de* ≡ 1 mod ϕ (*n*), where $n=p_1q_1$, p_1, q_1- are sufficiently large prime numbers that keep secret, ϕ (*n*) is the Euler function, for definiteness let $p_1>q_1$;

2) Random numbers k and are selected t that satisfy the condition $1<k, t<q$, q *is* a prime number and satisfies the condition $q<q_1$, in addition $1<x<n$ and GCD(*x* , *n*)=1;

3) The parameter is selected g, where $g<n$, GCD $(g, n)=1$ and $g^q \bmod n \neq 1$, in addition, the number q is not a divisor of the value of the Euler function $\phi(n)$.

The following parameters are now accepted as public keys:

1) $y=g^{axd} \bmod n$, where the value of the number a is generated as a solution to the equation $ed-a\phi(n)=1$;

2) $Q_1=[t]G$ and $Q_2=[x]G$, where is G the base point.

The following are accepted as secret keys: (d,a,t,x).

The formation of the digital signature is carried out using the secret keys of the person signing the message:

1. On the part of the person signing the message, M a randomly selected number k (this number is kept secret and after the digital signature is generated, it is destroyed by the person signing it) is calculated $[k]G=(x_1,y_1)$.

2. Calculated $r=g^{x_1 d} \bmod n \bmod q$.

3. Calculated $\rho=g^d \bmod n$.

4. Calculate $s=[k^{-1}(H(M)\rho t+r\rho x)] \bmod q$, where are $H(M)$ the values of the message hash function M.

5. Calculated $\gamma=(g^{-ax}\rho) \bmod n$.

The following three characters are accepted as an electronic digital signature: (r,s,γ).

The verification of the digital signature is carried out as follows :

1. If conditions *1 are violated¿* r , $s < q$ and $1 \le \gamma < n$, then “the signature is invalid”, the process is terminated, otherwise it goes to the next step.

2.According to *M* is calculated his hash value $H(M)$, that is, $h = H(M)$.

3. Calculated $w=y^e \bmod n$.

4. Calculate $\beta=w\gamma \bmod n$, where $\beta=w\gamma \bmod n=\rho \bmod n=\rho$, because $\rho<n$.

5. It is calculated $u_1=[s^{-1}H(M)\beta] \bmod q$ where

$u_1=[s^{-1}H(M)\beta] \bmod q = s^{-1}H(M)\rho-a_1 q$, natural number $a_1 \ge 1$.

6. Calculate $u_2=(s^{-1}r\beta) \bmod q = s^{-1}r\rho-a_2 q$, a natural number $a_2 \ge 1$

7. Calculated $[u_1]Q_1+[u_2]Q_2=(x_2,y_2)$.

8. If there is a $u=\beta^{x_2}\bmod n\bmod q=r$, then “the signature is valid”, otherwise “the signature is invalid”.

Proof of the correctness of the digital signature algorithm

For this the correctness of equality is established

$$[u_1]Q_1+[u_2]Q_2=(x_2,y_2)=(x_1,y_1)=[k]G.$$

Effective from the following expression $s=(H(M)\rho t+r\rho x)k^{-1}\bmod q$ located

$$k=[s^{-1}(H(M)\rho t+r\rho x)]\bmod q=[s^{-1}H(M)\rho t+s^{-1}r\rho x]\bmod q=$$

$$=s^{-1}H(M)\rho t+s^{-1}r\rho x-a_3q.$$

Then the equality holds :

$$[k]G=[s^{-1}H(M)\rho t+s^{-1}r\rho x-a_3q]G=[s^{-1}H(M)\rho][t]G+[s^{-1}r\rho][x]G-[a_3][q]G=$$
$$[u_1]Q_1+[u_2]Q_2.$$

On the other side :

$$[u_1]Q_1+[u_2]Q_2=[s^{-1}H(M)\rho-a_1q][t]G+[s^{-1}r\rho-a_2q][x]G=$$

$$=[s^{-1}H(M)\rho t]G+[s^{-1}r\rho x]G-[a_1t+a_2x][q]G=[s^{-1}H(M)\rho t+s^{-1}r\rho x]G==[$$
$$s^{-1}(H(M)\rho t+r\rho x)]G=[k]G.$$

These last two equalities completely prove the correctness of the proposed digital signature algorithm.

Analysis of the obtained results. Note that the EC $y^2=x^3-111x-110$ and the base point on it $P(x_0,y_0)=(-3;14)$ satisfy the requirements for correct selection [1, 4 - 7]:

- coefficients p , $q\in F_m$ are non-zero elements of a prime field;
- value of expression $4p^3+27q^2$ modulo m is not equal to zero, i.e. ($4p^3+27q^2$)mod m ¿ 0 ;
- invariant $J(E)\neq 0$ and $J(E)$ ¿ 1728;

Therefore, the elliptic curve satisfies the requirements of correct application in the proposed encryption and digital signature algorithms.

According to the design of the proposed encryption algorithm, each network user generates an open key and a corresponding secret key using a ratio $Q=[d]P=(x_Q,y_Q)$ based on a known base point $P(x_0,y_0)$. The secret key takes the value d , the open key declares the coordinates of the point $Q(x_Q,y_Q)$, and enters it into the book of open keys of network users. The sender of a secret encrypted message will receive the recipient's open key from the book of open keys and perform

encryption according to the corresponding part of the algorithm, and the recipient with his secret key, known only to himself, decrypts the encrypted message addressed to him.

On the proposed digital signature algorithm, the user who signed the document with his secret keys and the hash value of the document being signed will formulate the digital signature. This signed document is sent to the recipient via an open communication channel. The recipient of the document with the corresponding public keys of the sender will check the validity of the digital signature. This feature of the digital signature algorithm design based on a combination of existing complexities allows to significantly increase the stability of the digital signature algorithm. If new computational complexities are defined, then the algorithm design allows modification by public and corresponding secret keys.

Conclusion. This article is actually a continuation article [7]. Based on the results obtained, a specific type of EC and a base point on it were selected for the correct implementation of asymmetric encryption algorithms and digital signatures.

1. Software is specified in Borland language C ++Builder 6 algorithm for determining the order of a given base point .

2. A new asymmetric encryption algorithm is proposed, the public and secret keys are generated based on the one-way complexity function of adding points with rational coordinates of the EC

3. A new algorithm of digital signature with a composition of complexities is proposed: factorization of a sufficiently large number into prime factors, calculation of discrete logarithm on a finite field with the characteristic of a sufficiently large number, and execution of the addition operation over points with rational coordinates of the EC.

All of these listed forms a promising basis for the correct development and implementation of asymmetric encryption algorithms and digital signatures on electronic computers with a composition of other existing and new computational complexities.

References

[1] Amara M., Siad A. Elliptic curve cryptography and its applications //International workshop on systems, signal processing and their applications, WOSSPA. – IEEE, 2011. – С. 247-250.

[2] Keerthi K., Surendiran B. Elliptic curve cryptography for secured text encryption //2017 International conference on circuit, power and computing technologies (ICCPCT). – IEEE, 2017. – С. 1-5.

[3] Koblitz N., Menezes A., Vanstone S. The state of elliptic curve cryptography //Designs, codes and cryptography. – 2000. – Т. 19. – С. 173-193.

[4] Singh L. D., Singh K. M. Implementation of text encryption using elliptic curve cryptography //Procedia Computer Science. – 2015. – Т. 54. – С. 73-82.

[5] Umarov S. A., Akbarov D. E. Working out the new algorithm enciphered the data with a symmetric key //Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. – 2016. – Т. 9. – №. 2. – С. 214.

[6] Akbarov D. E. Cryptographic methods of ensuring information security and their application //Tashkent," Mark of Uzbekistan" publishing house. – 2009. – Т. 432. – №. 2.

[7] Akbarov D. E., Umarov S. A. An Electronic Digital Signature Algorithm Based on a Composition of Computational Difficulties: Discrete Logarithm, Factorization, and Addition of Points of an Elliptic Curve //Common Information about the Journal A&SE. – 2020. – Т. 10. – №. 10.

[9] Umarov S. Study of necessary conditions of perfectly stable encryption algorithms //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. – Т. 3147. – №. 1.

[11] Akbarov D. et al. Algorithm of the electronic sign-code signature on the basis of the composition of existing complexities //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 508. – C. 03009.
[12] Porubay O. et al. Optimization of operation modes of renewable energy facilities to provide energy for agriculture //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 01028.
[13] Paar C. Applied cryptography and data security //Lecture Notes), Ruhr-Universität Bochum (http://www. crypto. ruhr-uni-bochum. de). – 2000.
[14] Ergashev O. et al. Programming and processing of big data using python language in medicine //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 538. – C. 02027.
[15] Koblitz N. A course in number theory and cryptography. – Springer Science & Business Media, 1994. – T. 114.
[16] Mao W. Modern cryptography: theory and practice. – Pearson Education India, 2003.
[17] Turdimatov M. et al. Mathematical approximator based on basic spline approximation //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 508. – C. 04010.
[18] Akbarov D. et al. Research of general mathematical characteristics of logical operations and table replacements in cryptographic transformations //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2022. – T. 2432. – №. 1.
[19] Kharin Y. S. et al. Mathematical and Computer Foundations of Cryptology //Novoye Znaniye, Minsk. – 2003.

Умаров Шухратжон Азизжонович – доцент, Ферганский филиал Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммад ал-Хорезми;
E-mail. sh.umarov81@mail.ru.

КОНЦЕПЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАССИВНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

О.А. Усатова, Ш.Н. Макиленов, Е.Е. Бегимбаева, Я.С. Цой
Институт информационных и вычислительных технологий
КН МНВО РК, Казахстан
Казахский национальный университет имени Аль-Фараби, Казахстан

Аннотация

Пассивная аутентификация является ключевым направлением в повышении безопасности информационных систем, обеспечивая идентификацию пользователей без их активного участия. Она использует биометрические и поведенческие данные для проверки подлинности пользователей. Данная статья анализирует текущее состояние рынка пассивной аутентификации, её применение в различных отраслях, с особым акцентом на сферу здравоохранения. Также обсуждаются математические аспекты идентификации пользователей с помощью пассивной аутентификации и её роль в многофакторной аутентификации.

Ключевые слова*: пассивная аутентификация, медицинские данные, биометрические данные, поведенческий анализ, безопасность, система здравоохранения.*

Введение

Пассивная аутентификация представляет собой метод идентификации пользователя, при котором проверка личности осуществляется на основе биометрических или поведенческих данных без его непосредственного участия [1]. Растущая сложность кибератак и необходимость в повышении удобства для пользователей ведет к увеличению интереса к пассивной аутентификации. Рынок пассивной аутентификации демонстрирует уверенный рост, что связано с увеличением применения биометрических систем, машинного обучения и искусственного интеллекта в области кибербезопасности.

Виды пассивной аутентификации

Пассивная аутентификация подразделяется на несколько видов, каждый из которых использует различные типы данных для проверки подлинности пользователя:

1. Поведенческая биометрия — анализ траекторий движения мыши, скорости набора текста и стиля работы с устройствами [2].
2. Физиологическая биометрия — распознавание лиц, отпечатков пальцев, радужной оболочки глаза и других уникальных характеристик [3].
3. Анализ окружения — использование данных о местоположении, IP-адресе и устройстве пользователя для идентификации [4].

Рынок пассивной аутентификации демонстрирует постоянный рост, который подтверждается рядом исследований. Согласно данным Mordor Intelligence, рынок будет расти на 22% ежегодно в период с 2020 по 2025 годы [5].

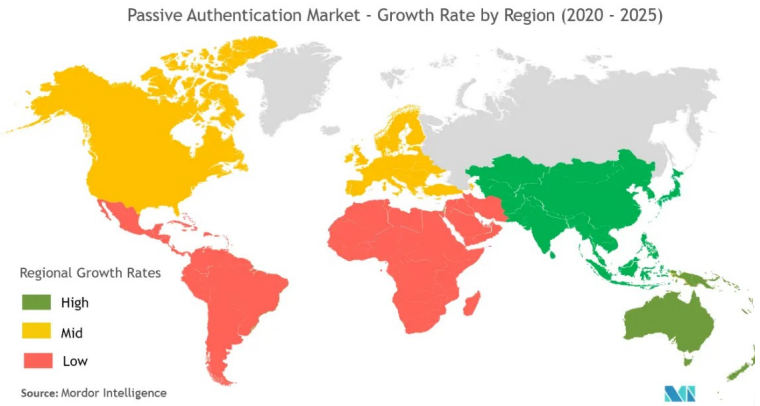


Рис. 1 График роста рынка пассивной аутентификации (2020-2025) [5].

Алгоритм работы пассивной аутентификации

Пассивная аутентификация осуществляется путём сбора и анализа различных данных о пользователе без его активного участия. Основные компоненты системы пассивной аутентификации включают:

1. Сбор данных: Важными источниками информации являются поведенческие характеристики (движения мыши, нажатия клавиш), биометрические параметры (распознавание лица, отпечатки пальцев) и контекстуальные данные (IP-адрес, GPS-координаты).
2. Анализ данных: Система пассивной аутентификации использует алгоритмы машинного обучения для сравнения полученных данных с ранее собранной информацией о пользователе. Если система распознает шаблоны, совпадающие с пользователем, происходит автоматическая аутентификация [6].

Процесс действия пассивной аутентификации можно представить в следующем виде:

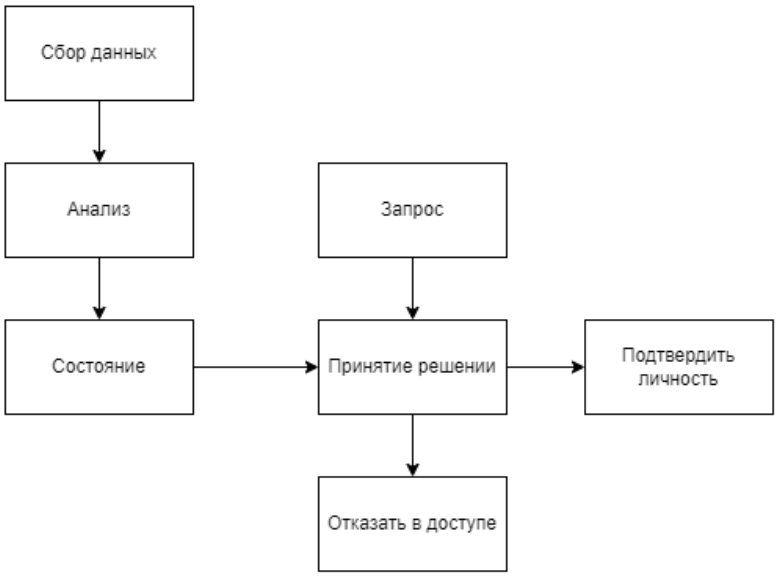


Рис. 2 Блок-схема работы пассивной аутентификации

Сравнительный анализ в сфере здравоохранения

Пассивная аутентификация находит применение в различных отраслях, включая банковскую сферу, здравоохранение, правительство и телекоммуникации. В таблице 1 представлен анализ использования пассивной аутентификации в различных секторах.

Таблица 1. Применение пассивной аутентификации по отраслям

Отрасль	Применение	Пример использования
Финансы	Аутентификация пользователей онлайн-банкинга	Распознавание лиц для доступа к личному кабинету
Здравоохранение	Защита данных пациентов	Анализ биометрии для доступа к медицинским записям
Телекоммуникации	Контроль доступа к сетевым ресурсам	Аутентификация по паттернам поведения

Сфера здравоохранения особенно требует высокого уровня защиты данных, что делает её одной из ключевых областей применения пассивной аутентификации. Использование пассивной аутентификации в медицинских учреждениях позволяет улучшить безопасность данных пациентов и снизить вероятность несанкционированного доступа. В отличие от банковского сектора, где фокус делается на удобстве, в медицине главной задачей является защита конфиденциальных данных.

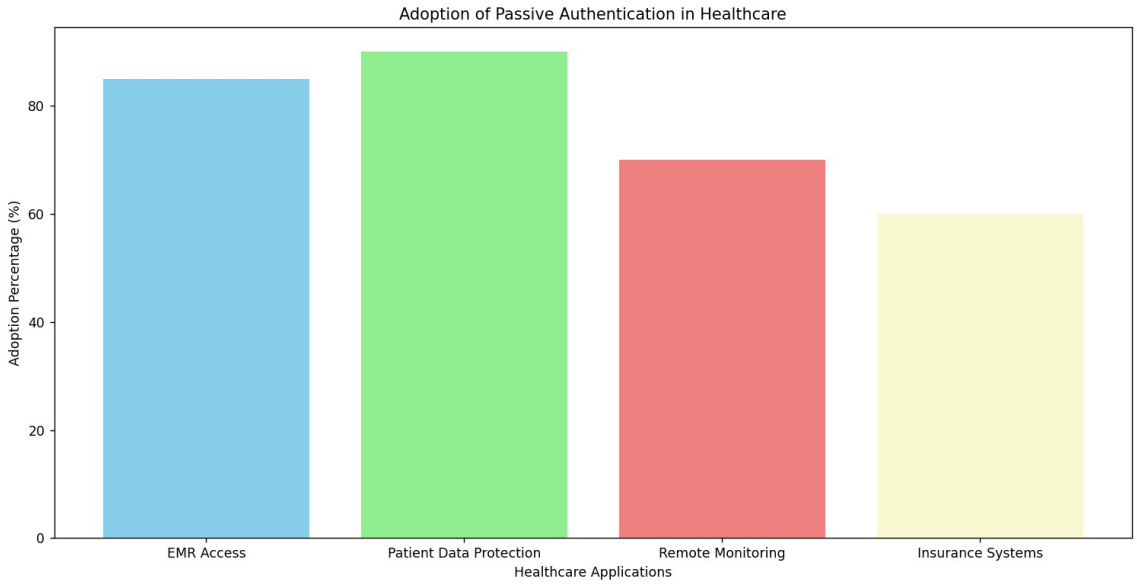


Рис. 3 График анализа применения пассивной аутентификации в здравоохранении

Пассивная аутентификация используется в медицинских информационных системах для защиты электронных медицинских записей. Согласно исследованию, проведенному в статье [7], внедрение пассивная аутентификация позволяет значительно снизить количество кибератак в медицинских учреждениях [7].

Математические основы аутентификации

Для доказательства эффективности пассивной аутентификации необходимо провести математический анализ идентификации пользователя. Пусть P_A - вероятность правильной идентификации пользователя с помощью активной аутентификации, а P_P -вероятность идентификации с помощью пассивной аутентификации.

Вероятность полной идентификации может быть представлена как:

$$P_{Total} = P_A + (1 - P_A) \cdot P_P \quad (1)$$

Таким образом, пассивная аутентификация позволяет увеличить общую вероятность успешной идентификации пользователя. Например, если P_A=0.9 (90% вероятность аутентификации по паролю), а P_P=0.7 (70% вероятность аутентификации по поведению), тогда общая вероятность идентификации составит:

$$P_{Total} = 0.9 + (1 - 0.9) \cdot 0.7 = 0.97 \quad (2)$$

Использование пассивной аутентификации как основного метода не рекомендуется из-за возможности ложных срабатываний. Однако её внедрение в качестве второго фактора значительно повышает удобство и безопасность системы. Пассивная аутентификация может использоваться для операций с низким уровнем риска, в то время как для высокорисковых операций необходимо применять активные методы (пароли, токены и т.д.).

Заключение

Пассивная аутентификация долгое время не находила широкого применения, однако в последнее время её популярность значительно возросла благодаря удобству использования. Несмотря на это, её не следует использовать как основной метод аутентификации из-за возможности ошибок и недостатков в точности. Внедрение пассивной аутентификации вместе с активными методами, особенно в рамках риск-ориентированной аутентификации, делает её мощным инструментом для повышения безопасности систем. Пассивная аутентификация эффективна для операций с низким уровнем риска, тогда как для высокорисковых операций её стоит применять в качестве второго фактора.

Благодарность

Данное исследование выполнено в рамках проекта AP19675957 «Разработка и исследование системы для обеспечения защиты медицинских данных с применением технологии блокчейн и методов искусственного интеллекта», который реализуется в Институте информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК.

Список использованной литературы

1. Plurilock. Passive Authentication: How it Works and Why it’s Important. – https://plurilock.com/deep-dive/passive-authentication/ (дата обращения: 05.10.2024).
2. Mordor Intelligence. Passive Authentication Market. – https://www.mordorintelligence.com/ru/industry-reports/passive-authentication-market (дата обращения: 05.10.2024).
3. iProov. Passive Authentication for Online Identity. – https://www.iproov.com/blog/passive-authentication-for-online-identity (дата обращения: 05.10.2024).
4. Keeper Security. Continuous Authentication: What Is It? – https://www.keepersecurity.com/ru_RU/resources/glossary/what-is-continuous-authentication/ (дата обращения: 05.10.2024).
5. Regula. Passive Authentication: How It Works and Its Benefits. – https://regulaforensics.com/blog/passive-authentication/ (дата обращения: 05.10.2024).
6. Stragapede, G., Vera-Rodriguez, R., Tolosana, R., Morales, A., Acien, A., & Le Lan, G. Mobile behavioral biometrics for passive authentication / G. Stragapede, R. Vera-Rodriguez, R. Tolosana, A. Morales, A. Acien, G. Le Lan // Pattern Recognition Letters. – 2022. – Vol. 157. – P. 35-41.

7. Nag, P., Chandrakar, P., & Chandrakar, K. An Improved Two-Factor Authentication Scheme for Healthcare System / P. Nag, P. Chandrakar, K. Chandrakar // Procedia Computer Science. – 2023. – Vol. 218. – P. 1079-1090.
8. Ussatova, O., Makilenov, S., Mukaddas, A., Amanzholova, S., Begimbayeva, Y., & Ussatov, N. Enhancing Healthcare Data Security: A Two-Step Authentication Scheme with Cloud Technology and Blockchain / O. Ussatova, S. Makilenov, A. Mukaddas, S. Amanzholova, Y. Begimbayeva, N. Ussatov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2023. – Vol. 126, No. 2.
9. Усатова, О., Макиленов, Ш., Аманжолова, С., Диханбаев, С., & Усатов, Н. Разработка системы регистрации действий пользователей в информационной системе здравоохранения / О. Усатова, Ш. Макиленов, С. Аманжолова, С. Диханбаев, Н. Усатов // Вестник КазАТК. – 2024. – Т. 130, № 1. – С. 332-343.

Усатова Ольга Александровна – PhD, ассоц. профессор Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
050010, Алматы; email: olgaussatova@gmail.com

Макиленов Шакирт Нурлубекулы – докторант 2 курса ОП «Системы информационной безопасности», Казахский национальный университет им. Аль-Фараби;
050040, Алматы; email: shakirt.makilenov@gmail.com

Бегимбаева Енлик Ериковна – PhD, ассоц. профессор, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
050010, Алматы; email: enlik_89@mail.ru

Цой Яна Сергеевна – инженер- программист, Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
050010, Алматы; email: yana-yana09@mail.ru

ХЕШ НЕГІЗІНДЕГІ ПОСТКВАНТТЫҚ ҚОЛ ҚОЮ СХЕМАСЫН ЖАСАУ ЖӘНЕ ОНЫ ЗЕРТТЕУ

С.Е. Нысанбаева, Қ.С. Сақан
Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,
ҚР ҒЖБМ, Қазақстан
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
ҚР ҒЖБМ, Қазақстан

Аңдатпа. *Постквантық криптожүйелерге кванттық компьютерлерді қолдану арқылы шабуылдарға қарсы тұра алатын криптографиялық жүйелерді жатқызуға болады. Бұл жүйелердің сенімділігі кванттық компьютерлерде тиімді шабуыл алгоритмдерінің жоқтығына негізделген. Осы жұмыста хэш-функцияларына негізделген Syrga2 постквантық қолтаңба схемасы зерттеледі. Бұл схема бір құпия және ашық кілт жұбын пайдаланып, бірнеше r хабарламасына қауіпсіз қолтаңба жасауға мүмкіндік береді. Авторлардың алдыңғы жұмыстарында ұсынылған Syrga1 схемасынан айырмашылығы, Syrga2 схемасы қауіпсіздік деңгейін әртүрлі етіп анықтауды, τ параметрімен белгіленуді қарастырады. Сондай-ақ, хабарламаны қол қою және верификациялау кезінде схеманың өнімділігі бағаланады.*

Кілттік сөздер*: постквантық криптография, хеш-функциялар, цифрлық қолтаңба, қолтаңбалардың қауіпсіздік деңгейі.*

1. Кіріспе

Кванттық есептеулердің, кванттық байланыс, кванттық криптография және т.б. дамуының арқасында кванттық технологиялар соңғы жылдары ғылыми және техникалық қауымдастықтың назарын аударып, қызығушылық тудырды. Кванттық технологиялар саласындағы зерттеулердің дамуы оларды барған сайын жетілдіріп келеді. Классикалық компьютерлер екілік кодтармен жұмыс істесе, кванттық компьютерлер мәліметтерді кодтау үшін кубиттерді пайдаланады. Кубит нөлді, бірді немесе олардың сызықты комбинациясын көрсетуге мүмкіндік беретін барлық аралық күйлердің суперпозициясын білдіреді. Осылайша, кванттық механиканы есептеулерде қолдану кванттық компьютердің дәстүрлі компьютерге қарағанда әлдеқайда жылдам есептеулер жүргізуіне мүмкіндік береді. 2019 жылдың қазан айында Google 53 кубиттік кванттық компьютердің жасалғанын жариялады. 2022 жылдың қараша айында IBM 433 кубитті өңдеуге қабілетті Osprey кванттық процессорының сәтті енгізілгенін хабарлады және 2025 жылға қарай 4158 кубиттік процессор шығаруды жоспарлап отыр [1].

Кванттық компьютерлер үшін Шор және Гровер алгоритмдері жасалды, олар қазіргі криптографиялық алгоритмдердің тұрақтылығына әсер етеді. Практикада кеңінен қолданылатын асимметриялық шифрлау алгоритмдері (RSA, DSA және басқалары) тұрақтылығын жоғалтады және көпмүшелік уақыт ішінде ашылып кетеді деп ұйғарылуда. Кеңінен қолданылатын асимметриялық шифрлау алгоритмдерінің барлығы қандай да бір басқа математикалық есептердің шешілу күрделілігіне негізделген алгоритмдермен ауыстырылуы керек [2].

Кванттық компьютерлердің симметриялық шифрлау алгоритмдері мен хэш-функцияларына әсері соншалықты қауіпті емес. Кванттық компьютерді пайдалана отырып кез келген симметриялық шифрлау алгоритмінің және хэш-функциясының криптографиялық беріктігі дәстүрлі компьютермен қолданылатын сол алгоритмнің кілт ұзындығын немесе хэш-код ұзындығын екі есе арттырған кездегі криптографиялық беріктікке тең болады [3].

2017 жылы АҚШ Ұлттық стандарттар және технологиялар институты (NIST) постквантық криптографиялық схемаларды стандарттау және талқылау бойынша ұсыныстарды қабылдау үшін ашық халықаралық байқау ұйымдастырды. 2019 жылдың 30 қаңтарында NIST байқаудың екінші кезеңіне өткен 26 алгоритмнен тұратын тізімді жариялады. 2022 жылдың шілдесінде NIST байқауының үшінші кезеңі аяқталып, АҚШ-та стандарттау үшін финалдық алгоритмдер тізімі жарияланды. Таңдалған алгоритмдер қатарына CRYSTALS-Dilithium, Falcon, SPHINCS+ сандық қолтаңба схемалары және CRYSTALS-Kyber кілттерді қорғау схемасы кірді [4].

2023 жылдың шілдесінде NIST қосымша квантқа төзімді стандартқа қатысу үшін рұқсат етілген сандық қолтаңба схемаларының тізімін жариялады. Тізімге теориялық торлар, кодтау, хэш-функциялары және басқа да принциптерге негізделген 50 ұсынылған схеманың 40-ы кірді. Қосымша кезеңнің негізгі себебі, негізгі кезеңдегі жеңімпаздардың (CRYSTALS-Dilithium, Falcon) ең тиімді схемалары торлық теория есептеріне негізделген, ал үшінші финалист – SPHINCS – өнімділік жағынан олардан артта қалды. 2023 жылдың тамыз айындағы жағдай бойынша жаңа тізімдегі бірнеше схемаға тиімді шабуылдар жасалды [5].

Хэшке негізделген криптография қолтаңба алгоритмдерін жасайды, олардың қауіпсіздігі таңдалған криптографиялық хэш-функцияның қауіпсіздігіне негізделген. Мысалы, SHA-2 қазіргі ең қуатты суперкомпьютерлердің шабуылдарына төтеп бере алатын және кванттық қауіпсіз болып саналатын хэш-функция. Демек, SHA-2 қолданатын хэшке негізделген қолтаңба алгоритмі негізінен SHA-2 сияқты қауіпсіз. Хэшке негізделген криптография алғаш рет 1970 жылдардың соңында Лэмпорт және Мерклмен жасалған. Мерклдің бастапқы схемасы жарияланғаннан бері хэшке негізделген алгоритмдер әлдеқайда тиімді болды [6].

2. Хэш-функцияларға негізделген постквантық қолтаңба схемаларға шолу

Электрондық сандық қолтаңбаны хэш-функция негізінде жобалау идеясы алғаш рет 1979 жылы американдық ғалым Лэмпорттың еңбектерінде пайда болды. Қолтаңба жасау кезінде жалғансандар генераторының (ЖСГ) көмегімен 256 кездейсоқ 256 биттік сандар жұбы $(a_i, b_i), i=\overline{0,255}$, генерацияланады, олар жүйенің құпия кілті болып саналады. Сандар жұптарын (a_i, b_i) хэштеу арқылы сәйкес ашық кілттер жұбы $(a_i^{'}, b_i^{'}), i=\overline{0,255}$ жасалады. Жалпы жағдайда, бұл схемаға кез келген криптографиялық қауіпсіз біржақты H функцияны қолдануға болады.

Көптеген қазіргі постквантық қолтаңбалар құрамында қолданылатын ең танымал бірреттік схемалардың бірі – WOTS схемасы (Winternitz OTS) [7]. WOTS схемасында қолтаңба жасау кезінде алдымен кездейсоқ сандар генераторының (КСГ) көмегімен құпия кілттер тізбегі $SK=(SK_0, SK_1, \ldots, SK_{m/w})$ генерацияланады. Содан кейін ашық кілттер тізбегі $PK=(PK_0, PK_1, \ldots, PK_{m/w})$ H хэш-функцияны 2^w-1 рет қолдану арқылы генерацияланады.

Цифрлық қолтаңбаны жасау үшін ұзындығы m бит болатын хабарлама M блоктарға w ұзындықта бөлінеді, яғни ¿$(M_0, M_1, .., M_{m/w})$. ӘрбірM_i блоктың сандық

көрсетілімдерінен тізбек $(a_0, a_1, .., a_{m/w})$ құрылады, ол арқылы хабарламаның қолтаңбасы σ т өмендегідей есептеледі:

$$\sigma = (\sigma_0, \sigma_1, \ldots, \sigma_{m/w}) = \left(H^{(a_0)}(SK_0), H^{(a_1)}(SK_1), \ldots, H^{(a_{m/w})}(SK_{m/w})\right).$$

WOTS схемасының бірнеше нұсқалары бар. Соның бірі – WOTS+ схемасы, ол SPHINCS+ алгоритмінің құрамына кіреді. SPHINCS+ алгоритмі NIST конкурсына ұсынылып, үш кезеңнен өткеннен кейін таңдалды. Бұл схемада хабарлама MMM блоктарға бөлінгеннен кейін, оның соңына бақылау сомасы қосылады $C = \sum_{i=1}^{l_1} (2^w - 1 - M_i)$. Блоктардың жалпы саны l, ол екі санның қосындысынан тұрады: $l = l_1 + l_2$, олардың мәндері келесі формулалармен анықталады: $l_1 = \lceil n / \log(w) \rceil$, $l_2 = \lfloor \frac{\log(l_1(w-1))}{\log(w)} \rfloor + 1$, мұнда n – ашық немесе жасырын кілттердегі биттердің саны.

Осылайша, блоктар $(M_1, \ldots, M_{l_1}, C_1, .., C_{l_2})$ қалыптасады, және әрбір M_i және C_i мәндерінен $(a_0, a_1, .., a_{l-1})$ тізбегі түзіледі. Бұл тізбек арқылы қолтаңба σ келесідей есептеледі:

$$\sigma = (\sigma_0, \sigma_1, \ldots, \sigma_{l-1}) = \left(H^{(a_0)}(SK_0), H^{(a_1)}(SK_1), \ldots, H^{(a_{l-1})}(SK_{l-1})\right).$$

Қолтаңбаны тексеру кезінде барлық есептеу қадамдары орындалады және соңғы кезеңде B есептеледі:

$$B\text{: } B = (b_0, b_1, \ldots, b_{l-1}) = \left(H^{(2^w - a_0)}(\sigma_0), H^{(2^w - a_1)}(\sigma_1), \ldots, H^{(2^w - a_{l-1})}(\sigma_{l-1})\right).$$

Егер $B = PK$ теңдігі орындалса, онда қолтаңба шынайы деп есептеледі, ал егер жоқ болса, қолтаңба жарамсыз.

WOTS+ схемасындағы тізбекті функцияны қолданудың артықшылығы –коллизияға төзімді хэш-функцияның болуы міндетті емес. Дегенмен, жоғарыда аталған схемалар бір реттік қолтаңбалар тобына жатады, сондықтан бірнеше хабарламаға қол қою кезінде кілттерді мұқият бақылау қажет. Сол себепті көп реттік қолтаңба (FTS, few-time signatures) схемалары да жасалды. Ең танымалдардың бірі – HORS (Hash to Obtain Random Subset) схемасы.

HORS схемасының HORSIC және HORSIC+ сияқты модификациялары да жасалған. HORSIC барлық бөліктерді сандық мәндерге түрлендіру үшін биективті функцияны қолданады. Сонымен қатар, қолтаңба өлшемін азайту әдісі қарастырылады. HORSIC+ қауіпсіздікті арттыру үшін WOTS+ схемасындағыдай тізбекті функцияны қолданады, бірақ хабарламаға қатысты шабуылдарға төзімді етіп бейімделген [8].

Жоғарыда аталған схемалардың кемшілігі – кейбіреулерінде кілтті бір рет қана қолдануға болады, ал кейбіреулерінде бірдей кілт қайталанып қолданылса, беріктік деңгейі төмендейді. Бұл шектеулерді жою үшін Меркл ағашы (екілік хэш-ағаш) ұсынылады. Екілік ағашта бір жалпы хэш мәні, яғни Меркл түбірі есептеледі, ол барлық деректер бөліктерін

қамтиды. Бір ашық кілтті және биіктігі n Меркл ағашын пайдалана отырып, 2n хабарламаға бір жалпы қолтаңба жасауға болады.

Жоғарыда айтылған схемалардан басқа, HBS (хэш негізіндегі қолтаңба) жасаудың бірнеше басқа нұсқалары бар. Олардың ішінде SPHINCS+ схемасын атап өтуге болады, ол НИСТ конкурсының нәтижелері бойынша таңдалған. Бұл схемада да күйді бақылаудың қажеті жоқ. SPHINCS+ алгоритмінің алғашқы нұсқаларының бірі – SPHINCS, HORS-T және WOTS+ схемаларын қолдана отырып жасалған, және Меркл ағашының түбірін есептеу үшін кілттерді алдын ала генерациялау қажет. SPHINCS алгоритмінде гиперағаш пен кілттің кездейсоқ жолын анықтау схемасы арқылы барлық жапырақтарды есептемей-ақ бірнеше кілттерді басқару мүмкіндігі пайда болды.

SPHINCS+ алгоритмі хабарламаға қол қойған кезде HORS схемасының жетілдірілген нұсқасы – Random Subsets (FORS) орманы схемасын және қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін реттелетін хэш-функцияны пайдаланады. FORS-де биіктігі n болатын k екілік ағаштар қарастырылады.

3. Анықтамалар мен әдістер

Қазіргі уақытта хэш-функцияларға негізделген бірнеше криптографиялық конструкциялар әзірленді. Мұндай конструкциялардың қауіпсіздігі коллизияларға және хабардың алдын ала қалпына келтіру қасиеттеріне қатысты хэш-функциясының ерекшеліктері немесе болжамдарына негізделіп дәлелденбейді. Дегенмен, кейбір тұрақты конструкциялар басқаларға қарағанда тиімді болмауы мүмкін, қауіпсіздігі дәлелденбеген [9].

Қауіпсіздік дәлелдерінің болуы мен дәлелсіздіктің болмауы арасындағы теңдестірілген тәсілдер практикалық тұрғыда тиімді болып табылады. Мұндай тәсілдердің ішіндегі ең танымалдарының бірі кездейсоқ оракул моделін қолдану [10].

Кездейсоқ оракул моделі криптографиялық хэш-функцияларды шын мәнінде кездейсоқ функциялар ретінде қарастырады. Бұл модельде жалпы кездейсоқ функция H бар және оны оракулдан «сұрау» арқылы анықтауға болады, сондай-ақ, оны «қара жәшік» ретінде қарастыруға болады, ол әрбір бірегей сұрау x үшін H(x) кездейсоқ жауап береді, ол өз шығу аймағында біркелкі таралады. Егер сұрау бірнеше рет қайталанса, оракул әрқашан бірдей жауап қайтарады.

Формалды тұрақтылық моделін сипаттау үшін сандық қолтаңба схемаларымен байланысты анықтамалар мен ұғымдарды енгіземіз.

• **Анықтама 1**: λ параметрінен тәуелді e(λ) функциясы ескерусіз кіші болып саналады, егер $\forall c>0, \exists K>0: \forall \lambda \geq K\, e(\lambda)<\lambda^{-c}$.

• **Анықтама 2**: M хабарлар кеңістігі болып табылса, $\Sigma=(Kg(), Sign(), Vf())$ цифрлық қолтаңба схемасы ықтималдықты алгоритмдердің үштігі ретінде көрсетіледі:

- $Kg(1^n)$ алгоритмі қауіпсіздік параметрі 1^n кіріс ретінде қабылдайды және (жабық кілт) SK қолтаңба кілтін және (ашық кілт) PK тексеру кілтін шығарады;

- $Sign(SK, M)$ алгоритмы $M \in M$ хабарламасының σ қолтаңбасын шығарады;

- $Vf(PK, M, \sigma)$ алгоритмы σ заңды қолтаңба болса, 1 нәтиже береді, яғни $Vf(PK, M, Sign(SK, M))=1$.

Цифрлық қолтаңба схемасының қауіпсіздігі – бұл шабуылшының көптеген таңдалған хабарламаларға қолтаңбаларға қол жеткізген жағдайда да жасанды қолтаңба жасауының мүмкін еместігін білдіреді.

4. Нәтижелер

4.1. Syrga2 постквантық цифрлық қолтаңба алгоритмы

Ұсынылған Syrga2 алгоритмы құрылымы мен функционалдығы бойынша постквантық цифрлық қолтаңба алгоритмы Syrga1-мен бірдей және оның модификацияланған нұсқасы болып саналады [11]. Syrga2 хэш-функциясына негізделген қолтаңба схемасы ретінде күйді сақтау бойынша схеманы білдіреді. Сақтау параметрі немесе *q* есептегішінің көмегімен жаңа қолтаңба жасалған сайын жаңартылады, бұл бірдей кілттер жұптарын қайта пайдалануға жол бермейді. Syrga1-ден айырмашылығы, Syrga2 хэш-функциясының көмегімен белгілі бір хабарламаны қолтаңбалауда қолданылатын құпия кілттер тізбегінің жасалу тізбегінде қайталаулар жоқ.

Қалыптасқан тізбекті, белгілі бір саннан тұратын элементтерден құралған, орын ауыстыру немесе қайталанусыз орын ауыстыру ретінде қарастыруға болады (жиын. Осы қайталанбайтын құрамдас бөліктерден алынған тізбекті алу әдісі төменде көрсетілген.

Ұсынылған алгоритмнің ғылыми жаңашылдығы – бастапқы құпия кілттер жинағынан r реттік ретті хештеуді пайдалану арқылы аралық құпия кілттер жиынтығын алуға мүмкіндік беретіндігінде. Бұл аралық кілттер r хабарламаны бір реттік кілттермен қол қоюға мүмкіндік береді. Алгоритмнің артықшылығы – оның салыстырмалы түрде шағын қолтаңба өлшемі және іске асыру уақыты, бұл кейбір алгоритмдерге тән аутентификация жолының болмауымен байланысты, олар Меркл ағашын пайдаланады. Syrga2 алгоритмінің тағы бір ерекшелігі – қауіпсіздігін арттыратын τ параметрін өзгерту мүмкіндігі. τ мәнін таңдау хеш-код ұзындығына байланысты емес, бұл кез келген басқа хеш-функциясын пайдалануға мүмкіндік береді.

Барлық басқа қол қою алгоритмдері сияқты, $DSS_{Syrga-2}$ схемасы полиномдық уақытпен жұмыс істейтін ықтималдық алгоритмдердің үштігінен тұрады: $Kg_{Syrga2}()$ – кілт генерациялау алгоритмі, $Sign_{Syrga2}()$ – хабарламаны қол қою алгоритмі және $Vf_{Syrga2}()$ – хабарлама қолтаңбасын тексеру алгоритмі. DSS_{Syrga2} схемасында M хабарламалар кеңістігі ретінде қарастырылады.

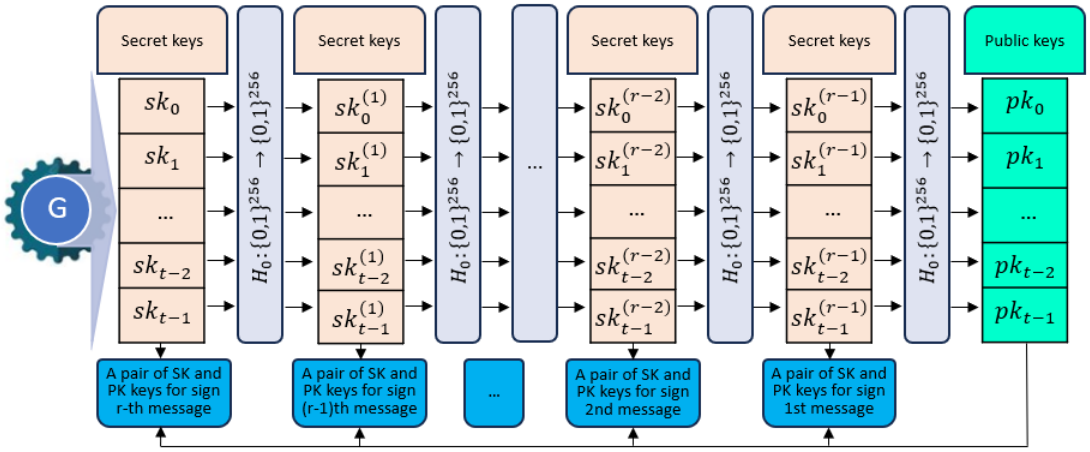
4.2. Кілт жасау алгоритмі

$Kg_{Syrga2}(1^n)$ алгоритмы кіріс параметрінде 1^n қауіпсіздік параметрін қабылдап, қолтаңбаның SK жабық кілтін және тексеру үшін PK ашық кілтін құрайды. SK қалыптастыру үшін кез келген псевдожалған генератор (PRG) G қолдануға болады, ол қысқа ұзындықтағы кездейсоқ кірісті n-биттік псевдослучайлы шығуға түрлендіреді: $G:\{0,1\}^{\iota} \to \{0,1\}^{t*n}$, мұнда $n,t \in N$. G функциясының нәтижесі t бөлікке бөлінеді, нәтижесінде $SK=(sk_0, sk_1, sk_2, \ldots, sk_{t-1})$. Ашық кілтті алу үшін криптографиялық хэш-функция $H_0:\{0,1\}^n \to \{0,1\}^n$ қолданылады.

Бұдан әрі хабарлама M_q (1≤q≤t) үшін қолтаңба жасаудың конкретті кілт жұбын анықтаймыз. Мысалға, 1-суретте PRG бойынша сгенерленген бастапқы құпия кілттердің q-рет хештеуден кейін ашық кілт алынатындығы көрсетілген.

DSS_Syrga2 схемасының $PK=\left(pk_0, pk_1, pk_2, \ldots, pk_{t-1}\right)$ ашық кілті SK-ның r рет хештелу нәтижесі ретінде есептеледі, яғни $PK=H_0^{(r)}(SK)$ немесе $pk_i=H_0^{(r)}\left(sk_i\right)$, мұнда $i=0,\ldots,t-1$. Syrga2 схемасында қауіпсіздік параметрлері мен басқа бастапқы параметрлер n=256, t=256 және r=1024 ретінде анықталады. Демек, әрбір sk_i және pk_i ұзындығы 256 битті құрайды.

Кілттерді құрудың келесі кезеңінде нақты M_q хабарламасына қол қою үшін құпия және ашық кілттердің жұбы анықталады, мұнда $1\le q\le t$. Назар аударатын жайт, ұсынылған DSS_{Syrga2} схемасы *KG:(SK;PK)* құрастырылған кілттер жұп пайдалану арқылы r хабарламаны бір реттік қол қоюға мүмкіндік береді. Аралық кілттер $SK_q=\left(sk_0^{(q)}, sk_1^{(q)}, sk_2^{(q)}, \ldots, sk_{t-1}^{(q)}\right)$ бір реттік қолданылғандықтан, схема жоғары деңгейдегі қауіпсіздікті қамтамасыз етеді.



1-сурет. SK және PK кілттерін құрудың құрылымдық схемасы

4.3. Хабарламаға қол қою алгоритмі (Қолтаңбалау алгоритмі)

$Sign_{Syrga2}$ алгоритмының кіріс деректері – аралық құпия кілт SK_q, қол қоюға арналған хабарлама $M_q\in M$, τ – P орын алмастыру кестесіндегі элементтер саны және q ∈ N реттік номері. Шығыс деректер – хабарлама M_q үшін σ қолтаңбасы. Хабарламаны қол қою процесі келесідей жүзеге асырылады. M_q бастапқы хабарламасы берілген, мұндағы $q\in[1,r]$. $h_0=M_q$ және $ctr=0, ctr\in Z$ деп алайық. τ параметрі қажетті қауіпсіздік деңгейіне байланысты келесі мәндердің бірін қабылдайды: 32, 64, 128, 256.

1) Хэш мәнді есептеу: $h=H_1(h_0)$, $H_1:\{0,1\}^{256}\to\{0,1\}^{256}$.

2) Хэш мәні h 32 бөліктерге бөлінеді: $h_1, h_2, \ldots, h_{32}$, олардың әрқайсысының ұзындығы $\log_2 256=8$ бит.

3) Әрбір h_j бөлігі $i_j\in[0,255]$ бүтін саны ретінде интерпретацияланады, $j=1,\ldots,32$.

4) Қайталанбайтын p_j-дан тұратын бүтін сандардың $P=(p_0,p_1,p_2,\ldots,p_s)$ жиыны құрылады, мұнда $p_j\neq p_k$, $j,k=1,\ldots,32$, $j\neq k$.

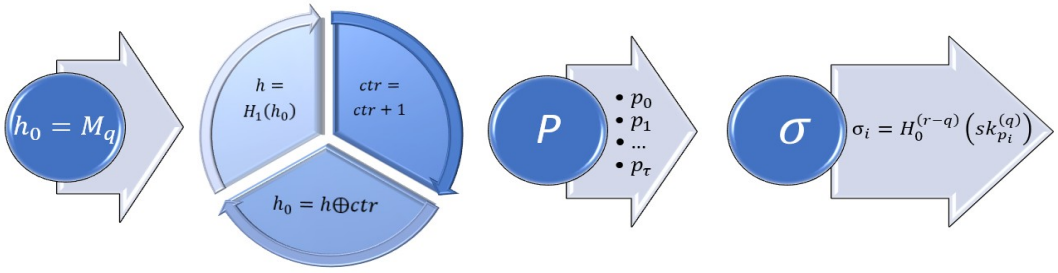
5) Егер s < τ болса, ctr = ctr + 1 және $h_0=h\oplus ctr$ деп есептей отырып, 1-5 тармақтарда көрсетілген әрекеттер орындалады.

6) Орын ауыстыру кестесі қалыптастырылады $P=(p_0,p_1,p_2,\ldots,p_{\tau-1}), p_j\neq p_k$, $j,k=0,\ldots,\tau-1$, $j\neq k$.

7) Кесте P мәндері бойынша $\sigma_j=H_0^{(r-q)}(sk_{p_j})$, $j=0,\ldots,\tau-1$ есептелінеді. Осылайша, $\sigma=(\sigma_0,\sigma_2,\ldots,\sigma_{\tau-1})$ есептелінеді.

8) $\Sigma=(M_q,q,\sigma,\tau)$ қолтаңбасы қалыптастырылады және Σ адресатқа жіберіледі.

Келесі суретте берілген M_q хабарламасы үшін M_q *аралық құпия кілтінен таңдалған* $SK_q=(sk_0^{(q)},sk_1^{(q)},sk_2^{(q)},\ldots,sk_{t-1}^{(q)})$ кілтін пайдалана отырып, қолтаңба формалану процесі көрсетілген (Сурет 2).



2-Сурет. M_q хабарламасы үшін σ қолтаңбасын жасау сұлбасы

4.4. Хабарламаның қолтаңбасын тексеру алгоритмі

$Vf_{Syrga2}(PK,\Sigma)$ алгоритмі M_q хабарламасының қолтаңбасының сенімділігін төмендегідей тексереді: $\forall(PK,SK_q)\leftarrow Kg_{Syrga2}(1^n),\forall(M_q\in M): Vf_{Syrga2}(PK,Sign_{Syrga2}(\Sigma),M_q)=1$. Алгоритм келесі түрде жұмыс істейді:

1. $\Sigma=(M_q,q,\sigma,\tau)$ қолтаңбасы қабылданады, және $h_0=M_q$ и $ctr=0, ctr\in Z$ мәндері анықталады.
2. $h=H_1(h_0)$ хэш мәні есептеледі.
3. h хэш мәні $h_1,h_2,\ldots,h_{32}$ болып 32 бөлікке бөлінеді, олардың әйқайсысы ұзындығы 8 бит.
4. Әр h_j бүтін сан $i_j\in[0,255]$, $j=1,\ldots,32$ ретінде интерпретацияланады.
5. p_j $j=1,\ldots,32$ қайталанбайтын бүтін сандардан құралған $P=(p_0,p_1,p_2,\ldots,p_s)$ жиыны қалыптасады, жиынның элементтері өзінің соңына жалғану арқылы жасаған. Мұнда $p_j\neq p_k$, $j,k=1,\ldots,32$, $j\neq k$.
6. Егер $s<\tau$ болса, что $ctr=ctr+1$ және $h_0=h\oplus ctr$ деп есептей отырып, 2-6 тармақтарда көрсетілген әрекеттер орындалады.
7. $P=(p_0,p_1,p_2,\ldots,p_{\tau-1}), p_j\neq p_k$, $j,k=0,\ldots,\tau-1$, $j\neq k$ орын ауыстыру кестесі генерацияланады.
8. $\sigma_j^{'}=H_0^{(q)}(\sigma_j)$, $j=0,\ldots,\tau-1$ есептеледі.
9. Келесі шарт тексеріледі: егер барлық $\sigma_j^{'}$ үшін $\sigma_j^{'}=pk_{p_j}$ теңдігі дұрыс болса, мұнда $j=0,\ldots,\tau-1$, онда қолтаңба шындыққа сай – ақиқат, әйтпесе – жоқ.

5. Syrga2 қауіпсіздігі мен тиімділігін талдау

5.1 Syrga2 қауіпсіздігін талдау

Белгілі болғандай, $sk_1, sk_2, \ldots, sk_t$ кілттің хэш мәндерінен қолтаңба $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_\tau$ алынған. Syrga2 схемасы күйді бақылау тобымен байланысты болғандықтан (q параметрі арқылы), бұзушының жалған қолтаңба жасау мүмкіндігі жоқ. Дегенмен, пайдаланушы абайсызда q параметрін бірнеше рет қолданған жағдайда, Syrga2 схемасының қауіпсіздік деңгейін түсірі алуы мүмкін. Мысалы, q параметрін бірнеше рет қолдану нәтижесінде бұзушыға белгілі бір кілт мәндері қолжетімді болды делік. Олардың санын z деп белгілейік.

Теорема 1. $F_n = \left\{ f_k : \{0,1\}^n \to \{0,1\}^n \vee k \in K \right\}$ — екінші прообразына тұрақты және анықтауға келмейтін біржақты функциялар жиыны болсын, ал H — кездейсоқ оракул моделіндегі криптографиялық хэш-функция. Сонда Syrga2 схемасының UF-CMA шабуылына қарсы осалдығы келесі ықтималдықпен бағаланады:

$$Pr\left[Sig_{A,\Sigma}^{UF-CMA}\left(Syrga2\left(1^n, t, \tau\right)\right)\right] \le max\left\{ \binom{t}{\tau} \cdot \binom{\tau}{z} \cdot \binom{t-\tau}{\tau - z}, q \cdot max\left\{ Pr\left[Sig_{A,\Sigma}^{OW}(n) = 1\right], Pr\left[Sig_{A,\Sigma}^{SPR}(n) = 1\right]\right\}\right\}. \quad (1)$$

UF-CMA – Unforgability against chosen-message attacks, қазақша «Таңдалған хабарлама шабуылдарына қарсы төзімділік».

5.2 Қауіпсіздік деңгейі және схеманың өнімділігін бағалау

Ешбір криптожүйе барлық шабуылдардан толық қорғалмағандықтан, оның қауіпсіздік деңгейін бағалау керек болады. Бұл оңай міндет емес, және мұндай бағалау үшін кең таралған субъективті әдістердің бірі — «биттік қауіпсіздік» (b) ұғымын қолдану. Биттік қауіпсіздікті бағалау криптографиялық есеп пен схемадағы барлық белгілі шабуылдарды ескере отырып жүргізіледі [12]. Егер криптожүйені сәтті шабуылдау үшін шамамен $O\left(2^b\right)$ операция қажет болса, онда криптожүйе қауіпсіздік деңгейі b-ге тең деп есептеледі [13].

b қауіпсіздік деңгейі үшін мынаны аламыз:

$$b \ge \log\left[\binom{t}{\tau} \cdot \binom{\tau}{z} \cdot \binom{t-\tau}{\tau - z}\right] = \log \frac{t!}{z!\left[(\tau - z)!\right]^2 (t + z - 2\tau)!}. \quad (2)$$

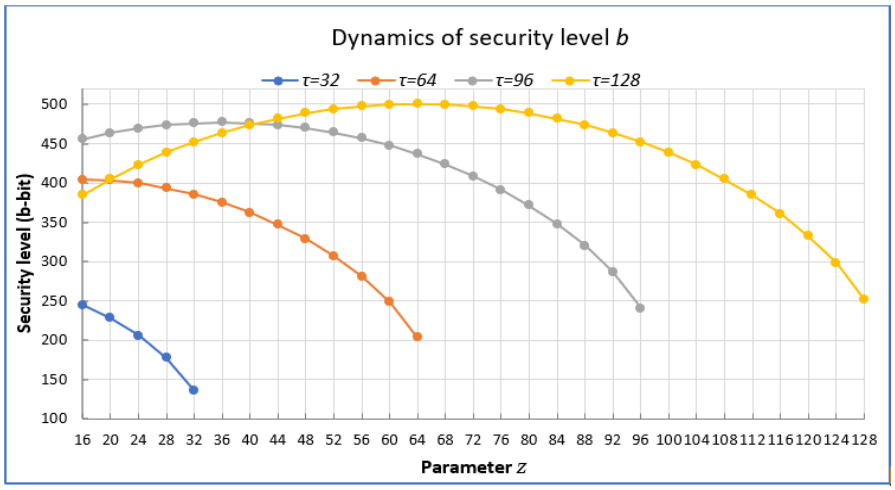
Кесте 1-де әртүрлі τ параметрлері үшін Syrga2 схемасының қауіпсіздік деңгейі және басқа постквантық қолтаңба схемаларының қауіпсіздік деңгейі, есептеу формулалары көрсетілген. Төменгі суретте τ параметрінің әртүрлі мәндеріне байланысты Syrga2 схемасының қауіпсіздік деңгейі көрсетілген.

Кесте 1. Кейбір постквантық қолтаңба схемаларының қауіпсіздік деңгейі

Схемалар	Формуласы	Параметрлер	Қауіпсіздік деңгейі b
Syrga1	$b = k\left(\log\left(t/k\right)\right)$	$k = 32, t = 256$	96
Syrga2		$\tau = 32$	135
		$\tau = 64$	203

		$\tau=96$	240
		$\tau=128$	251
HORS	$b=k\left(\log\left(t/kr\right)\right)$	$k=16, t=2^{10}, r=1$	96
W-OTS⁺	$b=n-\log\left(w^2 l+w\right)$, here $l=l_1+l_2, l_1=\lceil \frac{m}{\log w} \rceil,$ $l_2=\lfloor \frac{\log\left(l_1(w-1)\right)}{\log w} \rfloor+1$	$n=128, w=21, m=256$	113
HORSIC⁺	$b\geq \log \frac{t^k(z-1)!}{k!(k-1)!(z-k)!}.$	$n=256, t=2^{16}, k=26,$ $z=35, w=10$	353

3-суретте қауіпсіздік деңгейі b-ның z параметріне тәуелді динамикасы көрсетілген. Эксперименттік зерттеулер бойынша, z артқан сайын барлық қарастырылған τ мәндері (τ= 32, 64, 96, 128) үшін схеманың қауіпсіздік деңгейі төмендейді. Дегенмен, атап өту қажет, тіпті z-тің максималды мәнінде, яғни z=τ болғанда да, схема қажетті қауіпсіздік деңгейін қамтамасыз етеді.



3-Сурет. Syrga2 схемасының әртүрлі τ мәндері үшін қауіпсіздік деңгейі

5.3 Syrga2 өнімділігін бағалау

Бұл бөлімде Syrga2 схемасының тиімділігі HBC-256 және HAS01 хэш-функциялары арқылы талданады, олар ИИВТ-де әзірленген [14]. Өнімділікті объективті бағалау үшін Microsoft Visual Studio интеграцияланған дамыту ортасында C++ бағдарламалау тілінде бағдарламалық қамтамасыз ету жүзеге асырылды. Зерттеу жүргізілген ПК-ның сипаттамалары: операциялық жүйе – Windows 10 Pro (нұсқа 22H2), жүйе түрі – 64-разрядты операциялық жүйе, процессор – Intel(R) Core (TM) i5-7500T CPU @ 2.70 GHz, жедел жады – 8,00 ГБ.

Бағдарламаның әртүрлі кіріс параметрлерімен жұмыс нәтижелері 2-3 кестелерінде көрсетілген. P-блок бағдарламада динамикалық түрде хабарламаның M хэш-бейнесінің мәндеріне негізделіп генерацияланады. Алынған P-блок мәндері мен жабық кілттер негізінде қолтаңба қалыптасады.

Кесте 2. q = 1 және $\tau=¿\{32,64,96,128\}$ кезіндегі қолтаңбаны алу уақыты

Syrga2 компоненттері	τ, в миллисекундпен			
	32	64	96	128
Кілт жасау алгоритмі, $Kg_{Syrga2}()$	4755	4755	4755	4755
Р-блок жасау уақыты, $P=(p_0, p_1, p_2, \ldots, p_{\tau-1})$	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Қол қою уақыты, $Sign_{Syrga2}()$	623	1216	1770	2350
Қолтаңбаны тексеру уақыты, $Vf_{Syrga2}()$	0.01	0.01	0.02	0.01

Кесте 3. $q=512$ және $\tau=¿\{32,64,96,128\}$ кезіндегі қол қою уақыты

Syrga2 компоненттері	τ, в миллисекундпен			
	32	64	96	128
Кілт жасау алгоритмі, $Kg_{Syrga2}()$	4755	4755	4755	4755
Р-блок жасау уақыты, $P=(p_0, p_1, p_2, \ldots, p_{\tau-1})$	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Қол қою уақыты, $Sign_{Syrga2}()$	301	627	893	1177
Қолтаңбаны тексеру уақыты, $Vf_{Syrga2}()$	310	609	930	1203

6. Қорытынды

Ұсынылған Syrga2 схемасының негізгі ерекшелігі – (SK, PK) бір кілт жұбы арқылы бірнеше хабарламаны қолтаңбалау мүмкіндігі. Хабарламалардың мүмкін саны q параметрімен анықталады. Осылайша, схеманың қауіпсіздік деңгейі төмендемейді. Ұсынылған схема күйді сақтау классына жататындықтан, көрсетілген параметрді бақылау маңызды. Мақалада q мәнін қателесіп қайта пайдалану схеманың қауіпсіздік деңгейіне қалай әсер ететіні көрсетілген. Syrga2 схемасында қолтаңба мөлшері τ параметрімен анықталады және 32, 64, 96, 128 мәндерін қабылдайды. 3-кестеден көріп отырғанымыздай, егер пайдаланушылар үшін қолтаңба алу жылдамдығы маңызды болса, онда τ мәндерін кіші қылып таңдау жөн, ал егер қауіпсіздік маңызды болса, онда τ-дың үлкен мәндерін таңдау қажет.

Алғыс. Зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің қаржыландыруымен Ақпараттық және есептеу технологиялары институтында AP23488112 «Verkle ағашы негізінде кванттық төзімді цифрлық қолтаңба схемасын құру және зерттеу» гранттық қаржыландыру жобасы аясында орындалды.

Әдебиеттер тізімі

1. Malygina, E.S., Kutsenko, A.V., Novoselov, S.A. et al. Post-Quantum Cryptosystems: Open Problems and Solutions. Lattice-Based Cryptosystems. J. Appl. Ind. Math. 2023, 17, 767–790. https://doi.org/10.1134/S1990478923040087.
2. Suhail, S.; Hussain, R.; Khan A. and Hong, C. S. On the Role of Hash-Based Signatures in Quantum-Safe Internet of Things: Current Solutions and Future Directions, in IEEE Internet of Things Journal, Volume. 8, no. 1, 1-17. doi: 10.1109/JIOT.2020.3013019.
3. Palmieri, P. Hash-Based Signatures for the Internet of Things: Position Paper. In Proceedings of the 15th ACM International Conference on Computing Frontiers, Ischia Italy, 8–10 May 2018; Association for Computing Machinery: New York, NY, USA. 2018; 332–335. doi.org/10.1145/3203217.3206427.
4. Iavich, M.; Avtandil, G.; Iashvili, G. Hybrid Post Quantum Crypto System. Sci. Pract. Cyber Secur. J. (SPCSJ). 2019, 2, 92–98.
5. Buchmann, J.; Lauter K.; Mosca, M. Postquantum Cryptography – State of the Art, in IEEE Security & Privacy. 2017, Volume. 15, no. 4, 12-13, doi: 10.1109/MSP.2017.3151326.

6. Nejatollahi, H.; Dutt, N.; Ray, S.; Regazzoni, F.; Banerjee, I.; Cammarota, R. Post-quantum lattice-based cryptography implementations. ACM Comput. Surv. 2022, 51, 129. 1–41, https://doi.org/10.1145/3292548.
7. Shahid, F.; Khan, A.; Malik, S.R. Choo, K.R. WOTS-S: A Quantum Secure Compact Signature Scheme for Distributed Ledger, Information Sciences. 2020, Volume 539, 229-249, https://doi.org/10.1016/j.ins.2020.05.024.
8. Lee, J.; Park, Y. HORSIC+: An Efficient Post-Quantum Few-Time Signature Scheme. Applied Sciences. 2021; 11(16):7350, https://doi.org/10.3390/app11167350.
9. Kudinov, M.A.; Kiktenko, E.O.; Fedorov, A.K. Security analysis of theW-OTS+ signature scheme: Updating security bounds, Mathematical issues of Cryptography. 2021, Volume. 12, 129-149, https://doi.org/10.4213/mvk362.
10. Katz, J.; Lindell, Y. Introduction to Modern Cryptography, 3rd ed.; Chapman & Hall/CRC: London, UK, 2020.
11. Algazy, K.; Sakan, K.; Khompysh, A; Dyusenbayev D. Development of a New Post-Quantum Digital Signature Algorithm: Syrga-1, Computers, 2024, v 13, no. 1: 26, 1-14, https://doi.org/10.3390/computers13010026.
12. Sjöberg, M. Post-quantum algorithms for digital signing in Public Key Infrastructures, (Dissertation), 2017, Available online: https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-210909, (accessed on 26 January 2024).
13. Contribution to The Handbook of Information. Available online: https://blkcipher.pl/assets/pdfs/NPDF-32.pdf (accessed on 6 January 2024).
14. Algazy, K.; Sakan, K.; Kapalova, N.; Nyssanbayeva, S.; Dyusenbayev D. Differential Analysis of a Cryptographic Hashing Algorithm HBC-256. Applied Sciences, 2022, 12(19), 10173, 1-16. https://doi.org/10.3390/app121910173.

Нысанбаева Сауле Еркебулановна – т.ғ.д., бас ғылыми қызметкер,
Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,
ҚР ҒЖБМ, 050010, Алматы, e-mail: sultasha1@mail.ru

Сақан Қайрат Сақанұлы – PhD, аға ғылыми қызметкер,
Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, ҚР ҒЖБМ,
050010, Алматы; e-mail: kairat_sks@mail.ru

ЖАЛҒАН КЕЗДЕЙСОҚ ТІЗБЕКТЕР ГЕНЕРАТОРЫНЫҢ СТАТИСТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІН Д.КНУТ СЫНАҚТАРЫ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ

Хомпыш А., Алгазы К., Сақан Қ.
e-mail: ardabek@mail.ru
Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,
Алматы, Қазақстан,

Аңдатпа: *Криптографиялық алгоритмдерді құру барысында мән беретін маңызды процесстердің бірі олардың криптобериктілігін зерттеу болып табылады. Ұсынылып отырған алгоритмнен алынған тізбектің кездейсоқтық қасиеттерін тексеру үшін, ұсынылып отырған алгоритм Visual C++ тілінде бағдарламалық жүзеге асырылды және Д.Кнут сынақтары арқылы талдау жүргізілді. Д.Кнуттың графикалық сынақтарында әрбір сынақ бойынша алынған мәндер арқылы графикасы жасалынып бағаланса, бағалау сынақтарында* $2^k - 1$*еркіндік дәрежесінің санын есепке ала отырып,* χ^2 *критерийінің көмегімен талданды және нәтижесінде өту не өтпейтіндігін ақпараттық қауіпсіздік зертханасында әзірленген бағдарлама көмегімен анықталды.*

Кілттік сөз: *алгоритм, кездейсоқ тізбек, криптография, статистикалық сынақ.*

Кіріспе

Ақпараттық қауіпсіздіктің оңтайландыру жүйесі келесі мәселелерді қамтамасыз етуі керек, яғни ақпараттың немесе оның маңызды бөлігінің құпиялығын, ақпараттың өзара байланыс субъектілері мен объектілерінің шынайлылығын, рұқсат етілмеген пайдаланушылардан қорғау, ақпарат иемденуші пайдаланушылардың құқықтарын қорғау, ақпаратты басқару, ақпартты түрлендіру және жіберу процестеріне жедел басқару. Бұл мәселердің қауіпсіздігі криптографиялық алгоритмдер немесе ақпаратты хэштеу құралдарының көмегімен шешіледі. Бұл жағдайда, хэштеу процесін түрлендірілетін ақпаратты жалған кездейсоқ тізбек (ЖКТҚ енгізу ретінде қарастыруға болады [1,2].

Жалпы сандардың кездейсоқ тізбегі әртүрлі салада ғалымдардың зерттеу жұмыстарында қолданылады, атап айтқанда, олардың бірі криптография. Криптографияда кездейсоқ тізбектер маңызды рөл атқарады, олар криптографиялық алгоритмдер мен хаттамалардың негізгі және бастапқы параметрлерін қалыптастыру, ағындық шифрлау алгоритмдерінде сапалы кілт жасау үшін қолданылады [3]. Ал сапалы кілтті пайдаланған алгоритмдерден алынған шифрмәтін кездейсоқ алыну, біркелкі үлестірілуі алгоритмнің статистикалық тұрғыда қауіпсіздігін қамтамасыз етеді[4-6]. Жалған кездейсоқ сандарды немесе тізбектерді қандайда бір математикалық әдістердің көмегімен бір-біріне тәуелсіз кездейсоқ тізбектер шығаратын алгоритмді – жалған кездейсоқ сандар немесе тізбектер генераторы (ЖКТГ) деп атаймыз. Жалған кездейсоқ тізбектер генераторынан алынған тізбектің статистикалық қасиеттерін зерттеу криптографияда мағызды рөль атқарады.

Сондықтан тізбекті статистикасын тексерудің бірнеше сынақтары бар олардың ішінде жиі қолданылатындарға келесілер жатады:

- DieHard сынақтары АҚШ-тың Флорида мемлекеттік университетінің математик ғалымы George Marsaglia ұсынған статистикалық сынақтар жиынтығы.
- NIST сынақтары [7,8] АҚШ-тың Ұлттық стандарттар және технологиялар институты (NIST) ғалымдары Andrew Rukhin және т.б жасаған статистикалық сынақтар жиынтығы.
- Д. Кнут сынақтары [9,10] Станфорд университетінің ғалымы Д. Кнут ұсынған статистикалық сынақтар жиынтығы.

Бұл сынақтар тізбекті кездейсоққа тексерудің әртүрлі критерийлері арқылы анықтайды.

Материалдар мен тәсілдер

Д. Кнут сынақтары. Д. Кнут сынақтарында тізбектің статистикалық қасиеттерін зерттеу үшін графикалық және бағалау сынақтары пайдалынылады [10].

Графикалық сынақтар құрылған тізбектердің статистикалық қасиеттері графикалық түрде бейнеленеді, соған сәйкес сынақ нәтижелеріне сапалы бағалау жасалады.

Д. Кнуттың графикалық сынақтарының сипаттамаларына жеке тоқталатын болсақ.

«Тізбектің элементтерінің таралу гистограммасы» сынағы. Мұнда зерттелетін тізбектің әрбір элементінің қанша рет кездесетіні анықталынады, анықталған элементтердің пайда болу санымен олардың сандық мәндер арасындағы сәйкестік графигі тұрғызылады.

«Жазықтықтағы үлестірім» сынағы. Тізбек элементтерінің арасындағы өзара тәуелділікті айқындауға негізделген. Жазықтықта үлестіру келесідей орындалады. $m \times m$ өлшемдегі өрісте координаталары $(e_i; e_{i+1})$ болатын нүктелер алынады, мұндағы m– алфавиттің қуаттылығы, $0 \le e_i \le m$, e_i– зерттеп отырған тізбектің элементтері, $i = \overline{1,(n-1)}$, n – тізбектің ұзындығы.

«Сериялардыі тексеру» сынағы. k биттен құралған сериядағы 0 мен 1 бар болу жиілігін анықтау арқылы зерттеп отырған тізбектегі таңбалардың бірқалыпты шашырауын бағалау арқылы орындалады. Зерттелетін тізбекте кездесетін нөлдер, бірлер, екілік биттердің сериясы, үштік биттердің сериялар және т.б. биттердің сериялары қанша рет кездесетіні анықталынады.

«Монотондылықты тексеру» сынағы. Зерттелетін тізбек элементтерінің өсу және кему бөліктерінің ұзындықтарын анықтау арқылы тізбектегі таңбалардың біркелкі шашыруын бағалауға мүмкіндік береді.

«Автокорреляциялық функция (АКФ)» сынағы. Алынған тізбектің жылжытылған көшірмелері арасындағы корреляцияны бағалауға арналған.

Биттік АКФ. Биттік АКФ келесі түрде анықталынады. Зерттелетін жүргізілетін тізбек бит ретінде алынады, кейін алынған бит тізбегі ($1 \to 1, 0 \to -1$) ауыстырылады және корреляция толқындары (1) формула бойынша есептелінеді:

$$c_j = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} b_i \cdot b_{(i+j) \bmod n}}{\sum_{i=0}^{n-1} b_i^2}, \qquad (1)$$

мұнда b_i – қалыпты тізбектің элементтері, n - қалыпты бит тізбегінің ұзындығы, $i = \overline{0,(n-1)}$, $j = \overline{0,n}$.

Байттық АКФ. Алдымен зерттелетініп отырған тізбек $a_{r-1} a_{r-2} \ldots a_0$ (r -санның разрядтылығы) қалыпқа келтіріледі және тізбек екілік жазба ретінде өрнектелінеді. Осыдан кейін элементтердің қалыпты мәні (2) формула, ал корреляция толқындары (3) формуламен есептелінеді:

$$b_i = \sum_{j=0}^{r-1} \left((-1)^{a_i} \cdot 2^j \right) (2)$$

Осыдан кейін корреляция толқындары есептеледі:

$$c_j = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} b_i \cdot b_{(i+j) \bmod n}}{\sum_{i=0}^{n-1} b_i^2}, \quad (3)$$

мұнда b_i – қалыпты тізбектің элементтері, n - қалыпты бит тізбегінің ұзындығы, $j = \overline{0,n}$.

«Сызықтық күрделілік профилі» сынағы. Сызықтық күрделілік профилін сынағын жүргізу барысында $t_1 t_2 t_3 \ldots t_n$ – n ұзындықтағы тізбекті биттер ретінде жазып аламыз.

Кейін өрнектеп алған тізбектен k элементтері бар $t_1 t_2 t_3 \ldots t_k$ішкі тізбекшелер ретретімен таңдап алынады және ішкі тізбекшенің ұзындығынан L сызықтық күрделіліктің графигі жасалады.

«Графикалық спектрлік тест» сынағы. Фурье түрлендіруінің шығындарының биіктігін талдау негізінде зерттелетін тізбектегі 0 және 1 үлестірудің біркелкілігін тексеруге мүмкіндік береді. оны $x_1 x_2 x_3 \ldots x_n$ тізбегіне түрлендіреміз, мұндағы $x_i = 2t_i - 1$ (т. е. $1 \to 1$, $0 \to$-1). Енді қолданылады $x_1 x_2 \ldots x_n$ тізбегін дискретті Фурье түрлендіруне қолданамыз және гармоника тізбегін алымыз:

$$S_j = \sum_{k=1}^{n} x_k \left[\cos\left(\frac{2\pi j}{n}(k-1) \right) + i \cdot \sin\left(\frac{2\pi j}{n}(k-1) \right) \right] \quad (4)$$

Табылған S_j күрделі сандардан олардың модулін есептеп нәтижесінде графикасы салынады.

Д.Кнуттың бағалау сынақтар. Тізбектің кездейсоқтық қасиеттерді анықтау үшін Д.Кнуттың келесі бағалау сынақтар қолданылды. Олар:

«0 ме 1-ге тексеру» сынағы. 0 және 1-дің үлестірімнің біркелкілігін бағалауға мүмкіндік береді. Пайда болу саны v_i есептеледі және статистика шығарылады:

$$\chi^2(obs) = \sum_{i=0}^{1} \frac{\left(v_i - \frac{n}{2} \right)^2}{\frac{n}{2}} \quad (5)$$

Алынған нәтиже 1-ге тең еркіндік дәрежелері бар χ^2 критерийінің көмегімен талданады.

«Тіркеспеген сериялярды тексеру» сынағы. $t_1 t_2 t_3 \ldots t_n$ – тіркеспеген сериялардың екілік тізбегі болсын, n ұзындықтағы тіркеспеген сериялар ұзындығын талдай отырып, тізбектің кездейсоқтығын зерттейміз. Әрбір k санның ұзындығымен әр түрлі тіркеспейтін $v_{i_1 \ldots i_k}$ сериялардың пайда болу санын есептейміз (қосымша биттер алынып тасталады) және статистика есептеледі:

$$\chi^2(obs) = \sum_{v_{i_1 \ldots i_k}} \frac{\left(v_{i_1 \ldots i_k} - \left[\frac{n}{k} \right] \cdot \frac{1}{2^k} \right)^2}{\left[\frac{n}{k} \right] \cdot \frac{1}{2^k}} \quad (6)$$

Алынған нәтиже 2^k-*1* еркіндік дәрежесінің санын есепке ала отырып, χ^2 критерийінің көмегімен талданады.

«Символдық тексеру» сынағы. Әр таңбаның пайда болу жиілігін талдау негізінде зерттелетін тізбектегі таңбалардың біркелкі таралуы тексеріледі. $t_1t_2t_3\ldots t_n$ – n – ұзындықтағы k-разрядтық сандарының тізбегі. $v_i, i=\overline{0,(2^k-1)}$ неше рет кездесетінін есептейміз. Ал статистика (7) формуламен есептелінеді:

$$\chi^2(obs)=\sum_{i=0}^{2^k-1}\frac{\left(v_i-\frac{n}{2^k}\right)^2}{\frac{n}{2^k}} \quad (7)$$

Алынған нәтиже *2^k-1* еркіндік дәрежесінің санын есепке ала отырып, χ^2 критерийінің көмегімен талданады.

«Аралықты тексеру» сынағы. Барлық элементтері белгілі бір сандық аралыққа жататын ішкі тізбектің ұзындығын талдай отырып, зерттелетін тізбектегі таңбалардың біркелкі таралуын тексереді. $t_1t_2t_3\ldots t_n$ тізбегі n ұзындықтағы k-разрядтық сандарының тізбегі болсын. α және $\beta-0\le\alpha<\beta\le 2^k-1$ теңсіздігін орындайтын екі бүтін сан болсын. [α; β] аралығындағы сандар арасындағы интервалдардың ұзындығы есептеледі. Осыдан кейін $v_i, i=\overline{0,m}$интервалдар саны анықталады, мұндағы *0, 1, 2, …, m* үшін статистика (8) формуламен есептелінеді:

$$\chi^2(obs)=\sum_{i=0}^{m}\frac{\left(v_i-\eta\frac{\beta-\alpha}{2^k}\left(1-\frac{\beta-\alpha}{2^k}\right)^i\right)^2}{\eta\frac{\beta-\alpha}{2^k}\left(1-\frac{\beta-\alpha}{2^k}\right)^i} \quad (8)$$

$$\lambda_i=\lim\frac{1}{p}\sum_{t=1}^{p\sum\frac{|w_i(t)|}{|w_i(t-1)|}}\ln$$

мұндағы: $\eta=\sum_{i=0}^{m}v_i$ – интервалдардың жалпы саны.

Алынған нәтиже еркіндік дәрежелерінің саны *m*-ге тең χ^2критерийінің көмегімен талданады.

«Комбинацияларды тексеру» сынағы. Зерттелетін ішкі тізбекшелердегі әртүрлі таңбалардың таралуын талдай отырып, қарастырылатын тізбектегі таңбалардың біркелкілігін тексереді. $t_1t_2t_3\ldots t_n$ тізбегі n ұзындықтағы k-разрядтық сандарының тізбегі болсын. Біз осы тізбекті әрқайсысының ұзындығы m болатын тізбекшелерге бөлеміз (қосымша биттер алынып тасталады). i санын қамтитын $v_i, i=\overline{1,r}$ ішкі тізбекшелерінің санын санаймыз, осыдан соң статистика есептелінеді (9) формула:

$$\chi^2(obs)=\sum_{i=1}^{r}\frac{\left[v_i-\left[\frac{n}{k}\right]\cdot p_i\right]^2}{\left[\frac{n}{k}\right]\cdot p_i} \quad (9)$$

мұндағы $p_i = \frac{d(d-1)\ldots(d-i+1)}{d^m}\left\{ {m \atop i} \right\}$, $d = 2^k - 1$, $\left\{ {m \atop i} \right\}$- Стирлинг саны.

Стирлинг саны мына түрде есептелінеді:

$$\left\{ {k \atop n} \right\} = \begin{cases} 1, \text{егер } k = n \text{ немесе } n = 1 \text{ және } k > 0; \\ 0, \text{егер } n = 0 \text{ немесе } k < n; \\ n \cdot \left\{ {k-1 \atop n} \right\} + \left\{ {k-1 \atop n-1} \right\}, \text{қалған жағдайларда}. \end{cases}$$

Алынған нәтиже *r-1* еркіндік дәрежесінің санын есепке ала отырып, χ^2 критерийінің көмегімен талданады.

«Купон жинаушының тесті» тесті. Әр түрлі сандар комбинацияларын талдай отырып, зерттелетін тізбектегі таңбалардың біркелкі таралуын тексереді. $t_1 t_2 t_3 \ldots t_n$ тізбегі *n* ұзындықтағы k-разрядтық сандарының тізбегі болсын. 0 ден $2^k - 1$-ге дейігі сандар жиынтығын қамтитын $i, i = \overline{2^k, r}$ ұзындықтағы ν_iішкі тізбекшелерінің саны есептеліп шығады. Содан кейін статистика саналады (10) формула:

$$\chi^2(obs) = \sum_{i=d}^{r} \frac{\left[\nu_i - \eta \cdot p_i\right]^2}{\eta \cdot p_i} \tag{10}$$

мұндағы $p_i = \frac{d!}{d^i}\left\{ {i-1 \atop d-1} \right\}$, $i = \overline{2^k, r}$, $p_r = \frac{d!}{d^{r-1}}\left\{ {r-1 \atop d} \right\}$, $\eta = \sum_{i=d}^{r} \nu_i$, $d = 2^k - 1$.

Алынған нәтиже $r - 2^k + 1$ еркіндік дәрежесінің санын есепке ала отырып, χ^2 критерийінің көмегімен талданады.

«Орын ауыстыруды тексеру» сынағы. Ішкі тізбекшедегі сандардың өзара орналасуын талдай отырып, зерттелетін тізбектегі таңбалардың біркелкі таралуын тексереді.

$t_1 t_2 t_3 \ldots t_n$ тізбегі *n* ұзындықтағы *m*-разрядтық сандарының тізбегі болсын. Біз осы тізбекті әрқайсысының ұзындығы *k* болатын тізбекшелерге бөлеміз (қосымша биттер алынып тасталады). Әрбір ішкі тізбекшеде сандардың орналасуына қатысты *k!* санындағыдай мүмкін болатын жағдай бар. $\nu_i, i = \overline{1, k}!$ неше рет кездескені саналады және оның статистикасы шығарылады (11) формула:

$$\chi^2(obs) = \sum_{i=1}^{r!} \frac{\left[\nu_i - \left[\frac{n}{k}\right] \cdot \frac{1}{k!}\right]^2}{\left[\frac{n}{k}\right] \cdot \frac{1}{k!}} \tag{11}$$

Алынған нәтиже *k!-1* еркіндік дәрежесінің санын есепке ала отырып, χ^2 критерийінің көмегімен талданады.

«Корреляцияны тексеру» сынағы. Тізбек элементтерінің өзара тәуелділігін тексереді. $t_1 t_2 t_3 \ldots t_n$ тізбегі *n* ұзындықтағы *k*-разрядтық сандарының тізбегі болсын. Статистика (12) формуламен есептелінеді:

$$C_j=\frac{n\left(t_0t_j+t_1t_{(1+j)\,mod n}+\ldots+t_{n-1}t_{(n-1+j)\,mod n}\right)-\left(t_0+t_1+\ldots+t_{n-1}\right)^2}{n\left(t_0^2+t_1^2+\ldots+t_{n-1}^2\right)\left(t_0+t_1+\ldots+t_{n-1}\right)^2} \quad (12)$$

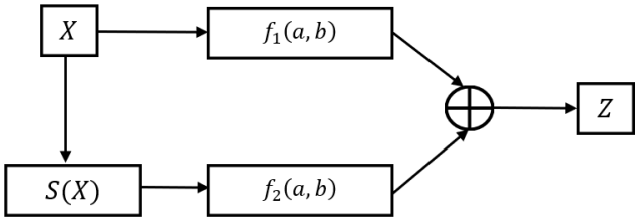
Кез-келген j үшін C_j мәні төмендегі интервалда жатуы тиіс:

$$\left[\mu_n-2,43\sigma_n;\mu_n+2,43\sigma_n\right],$$

мұндағы:

$$\mu_n=\frac{-1}{n-1},\sigma_n^2=\frac{n^2}{(n-1)^2(n-2)}.$$

Зерттеліп отырған тізбек алынған жалған кездейсоқ тізбек жасайтын PSP_ISL генераторының сұлбасы 1-суретте көрсетілген.

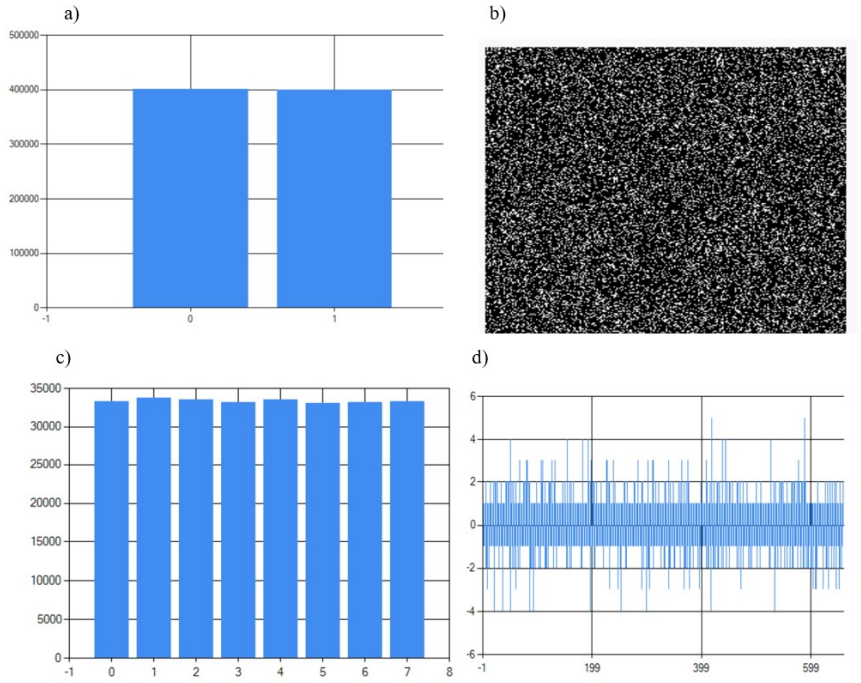


1-сурет. PSP_ISLгенераторының сұлбасы

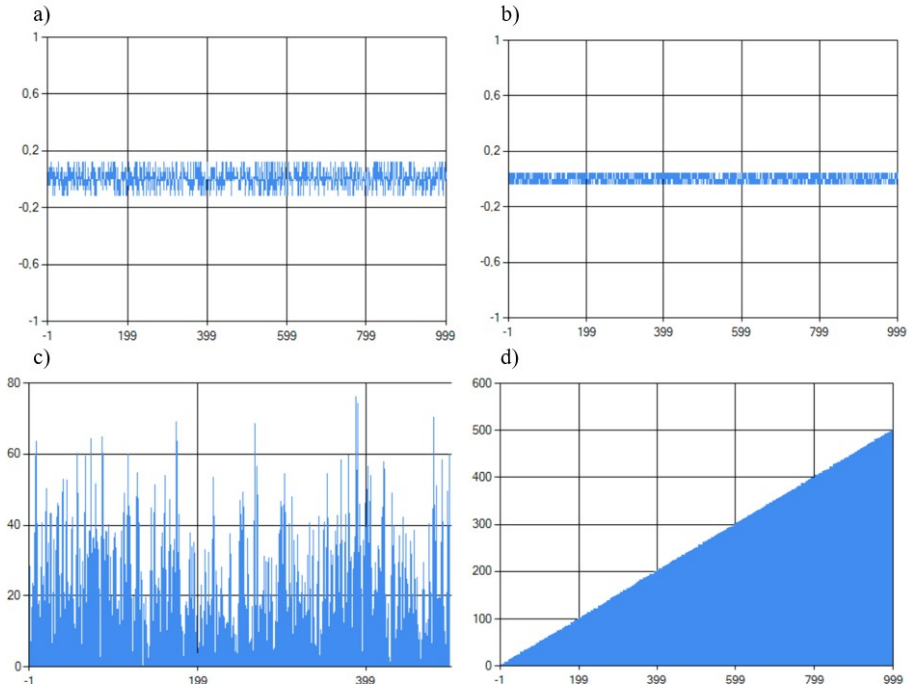
PSP_ISL генераторынан статистикалық бағалау нәтижелері

Бұл жұмыста жоғарыда көрсетілген сынақтардың ішінде Д. Кнут сынақтарын колдана отырып PSP_ISL генераторынан алынған кездейсоқ тізбектің статистикасын тексереміз.

Ол үшін Д. Кнуттың графикалық сынақтарының бойынша PSP_ISL генераторынан алынған өлшемі 98 кбайт болатын кездейсоқ тізбек сынақтан өткізіледі, зерттеу нәтижесі 2,3-суреттерде көрсетілген.



2-сурет. Д. Кнуттың графикалық сынақтар нәтижесі: а) - тізбектің элементтерінің таралу гистограммасы;
б) - жазықтықтағы үлестірім; с) - сериялардың тексеру; d) - монотондылықты тексеру



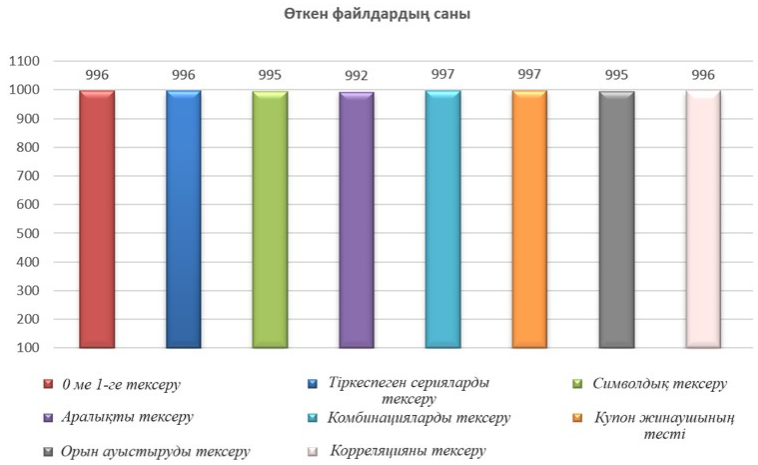
3 -сурет. Д. Кнуттың графикалық сынақтар нәтижесі: а) - Биттік автокорреляциялық функция; b) - Байттық автокорреляциялық функция; с) - сызықтық күрделілік профилі; d) - графикалық спектрлік сынақ

Д. Кнуттың графикалық сынақтары бойынша PSP_ISL генератордан алынған тізбектерді ауқымды зерттеу үшін әр қайсысының ұзындығы 10000байт, ал алғашқы параметрі 256бит болатын 1000 файлды тексереміз. Зерттеу нәтижесі 1-кестеде көрсетілген.

1-кестеде. Д. Кнуттың графикалық сынақтары нәтижесі

№	Графикалық сынақтар	Тексерілген файлдардың саны	Өткен файлдың саны	Өтпеген файлдың саны
1	Тізбектің элементтерінің таралу гистограммасы	1000	1000	-
2	Жазықтықтағы үлестірім		992	8
3	Сериялардың тексеру		996	4
4	Монотондылықты тексеру		996	4
5	Биттік автокорреляциялық функция		997	3
6	Байттық автокорреляциялық функция		996	4
7	Графикалық спектрлік сынақ		998	2
8	Сызықтық күрделілік профилі		1000	-

Бағалау сынақтардың графикалық сынақтардан айырмашылығы, нәтижелерді интерпретациялауда нақты сандық сипаттамалар арқылы өтті немесе өтпеді деп анықталынады. Статистикалық қасиеттерді анықтау үшін бағалау сынақтар арқылы қарастырып отырған PSP_ISL генераторынан алынған 1000 файлдың статистикасын тексереміз. Алынған тізбектің нәтижесі 4-суретте көрсетілген. Бағалау тесттерінің нәтижесі бізге нақты өтетінін немесе өтпейтіндігін көрсетеді.



4-сурет. Д.Кнуттың бағалау сынақтар нәтижесі

Қорытынды

Ұсынылған ЖКТГ статистикалық қауіпсіздігін тексеру үшін Д.Кнут сынақтары қолданылды. Д.Кнуттың сынақтары бойынша зерттеу нәтижелері көрсетілгендей тізбектің элементтерінің таралу гистограммасында 0 мен 1 біркелкі үлестірілгендігі анықталды. Д.Кнуттың басқа да сынақтарының зерттеу нәтижелерінде көрсетілгендей жалған кездейсоқ тізбектің талаптарын қанағаттандыратындығы анықталды.

Зерттеу нәтижелеріне сәйкес ұсынылып отырған ЖКТГ алгоритмі кез-келген қауіпсіздік саласында әртүрлі ұзындықтағы сенімді құпия кілттерді, құпия сөздерді және жалған кездейсоқ тізбекті генерациялау үшін сенімді қолдануға болатындығы анықталды.

Алғыс. Жұмыс BR24993052 «Ресурстары шектеулі жүйелердегі ақпаратты қорғау үшін криптографиялық алгоритмдерді әзірлеу және зерттеу, олардың беріктігін бағалау» жобасы негізінде жүргізілді.

1. Popereshnyak, S. (2020). Technique of the testing of pseudorandom sequences, Svitlana Popereshnyak. International Journal of Computing, 19(3), 387-398

2. Park, S., Kim, K., Kim, K., Nam, C. (2022). Dynamical Pseudo-Random Number Generator Using Reinforcement Learning. Appl. Sci., 12(3377). https://doi.org/10.3390/app12073377

3. Pasqualini, L., Parton, M. (2020). Pseudo Random Number Generation: a Reinforcement Learning approach. International Workshop on Statistical Methods and Artificial Intelligence (IWSMAI), Procedia Computer Science, 170, 1122–1127.

4. Ofelius Laia et.al., (2019). Application of Linear Congruent Generator in Affine Cipher Algorithm to Produce Dynamic Encryption. International Conference of SNIKOM 2018. Journal of Physics: Conference Series, Vol. 1361.

5. AL-khatib, Mohammed & Lone, Auqib. (2018). Acoustic Lightweight Pseudo Random Number Generator based on Cryptographically Secure LFSR. International Journal of Computer Network and Information Security. 10. 38-45. 10.5815/ijcnis.2018.02.05.

6. Feng, Yulong & Hao, Lingyi. (2020). Testing Randomness Using Artificial Neural Network. IEEE Access. 8. 163685-163693. doi:10.1109/ACCESS.2020.3022098.

7. Savelov, M. (2023). The limit joint distributions of statistics of three tests of the NIST package. Discrete Mathematics and Applications, 33(4), 247-257. https://doi.org/10.1515/dma-2023-0022

8. Bassham, L., Rukhin, A., Soto, J., Nechvatal, J., Smid, M., Leigh, S., Levenson, M., Vangel, M., Heckert, N., Banks, D. (2022). A Statistical Test Suite for Random and Pseudorandom Number Generators for Cryptographic Applications. Special Publication (NIST SP); National Institute of Standards and Technology: Available online: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=906762 (accessed on 21 November 2022).

9. Popereshnyak, S. (2019). Analysis of pseudorandom small sequences using multidimensional statistics, Proceedings of the 2019 3rd IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT'2019), 541-544.

10. Koçak, Onur. (2018). Modifications of knuth randomness tests for integer and binary sequences. Communications Faculty Of Science University of Ankara Series A1, Mathematics and Statistics. 67. 64-81. https://doi.org/10.1501/Commua1_0000000862.

Zero-Trust Architecture for Strengthening Internal Security in Corporate IT Environments

Rakymbekov B.B., Turysbayev A.E., Ziyatbekova G.Z.
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
baha.adeline@gmail.com

In today's interconnected corporate environments, where data is a core asset, traditional security models are being challenged by the rise of sophisticated threats, particularly from within the organization. Insider threats, unauthorized access, and inadvertent security lapses by employees pose serious risks to corporate IT infrastructures. In this context, the Zero-Trust Architecture (ZTA) offers a paradigm shift from traditional perimeter-based security to a model that assumes no user or system is inherently trusted, regardless of their location within or outside the network.

This article explores the key principles of Zero-Trust Architecture, its role in addressing internal security risks, and the practical steps organizations can take to strengthen their internal security posture using ZTA.

***Key words**: risks, threats, ZTA, network, models, security, cloud*

Introduction

Internal security risks can arise from both malicious and non-malicious actors. Insiders, including employees, contractors, or partners, may intentionally or accidentally cause data breaches, leak sensitive information, or misuse their access privileges. Traditional security models often rely on a "trust but verify" principle, which assumes that individuals within the corporate perimeter can be trusted. However, this model is becoming obsolete due to the increasing complexity of corporate networks, the rise of remote work, and the growing use of cloud-based services.

One of the core challenges is that internal users often have extensive access to critical systems and data, making it difficult to detect and mitigate potential threats using conventional security tools like firewalls and antivirus software. This is where the Zero-Trust Architecture excels.

Principles of Zero-Trust Architecture

Zero-Trust Architecture operates on the principle of "never trust, always verify." Unlike traditional models that focus on protecting the network perimeter, ZTA assumes that threats can exist anywhere, even inside the network. Thus, no user, device, or application is trusted by default.

Key principles of Zero-Trust include:

Least Privilege Access: Users and devices are granted the minimum access needed to perform their tasks. Access is tightly controlled and segmented to reduce exposure to sensitive data.

Micro-Segmentation: Network segmentation is applied at a granular level, isolating different parts of the network to prevent lateral movement in case of a breach.

Continuous Authentication and Verification: Rather than granting indefinite access once a user is authenticated, ZTA enforces continuous verification of identities and devices. Access is dynamically granted and revoked based on real-time risk assessments.

Data-Centric Security: Data is protected regardless of its location—whether at rest, in transit, or in use—by enforcing encryption and strict access controls.

1. How ZTA Mitigates Internal Security Risks

Zero-Trust Architecture enhances internal security by focusing on user behavior, device security, and limiting access to critical resources. Some of the key ways it strengthens internal security include:

Preventing Insider Threats: ZTA ensures that users only have access to the data and systems they need, reducing the risk of intentional or accidental misuse. Even privileged users undergo continuous authentication checks, and their activity is monitored for signs of anomalous behavior.

Minimizing Attack Surfaces: By enforcing the principle of least privilege and implementing micro-segmentation, ZTA limits the ability of attackers to move laterally across the network. In the event of a breach, the attack surface is minimized, and damage is contained.

Detecting Anomalous Activity: Continuous monitoring and analytics are integral to ZTA. Behavioral analytics systems track user behavior, flagging unusual activity patterns that may indicate a potential breach or insider threat. ZTA combines this with automated responses, such as access revocation or session termination, to swiftly mitigate risks.

Securing Remote and Cloud Access: With the rise of cloud services and remote work, ZTA is well-suited to secure access in distributed environments. Every access request is verified regardless of location, ensuring that only trusted users and devices can access sensitive data, even from outside the corporate network.

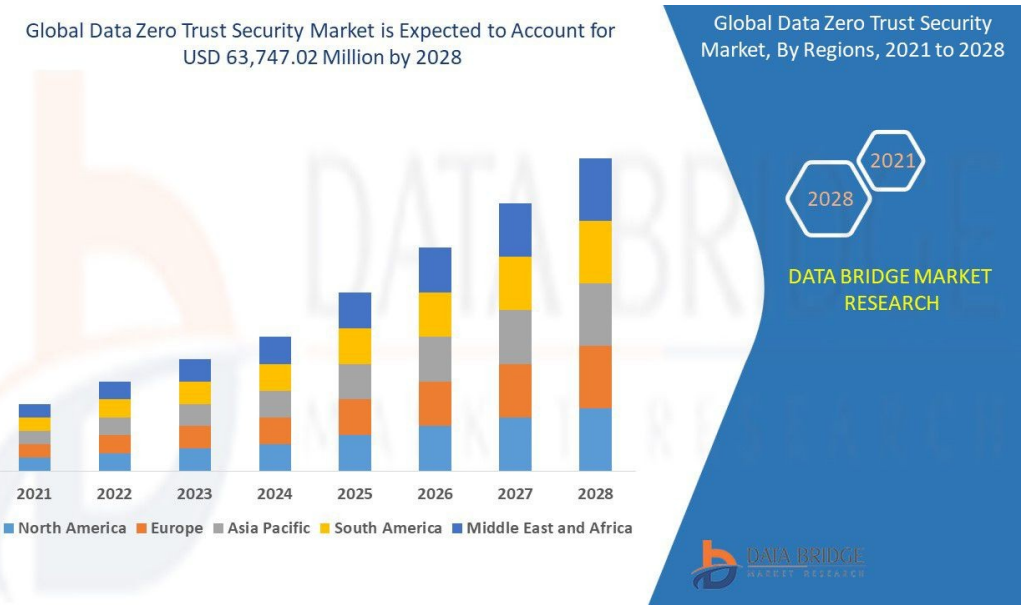


Figure 1. Global Data Zero Trust Security Market

Global Data Zero Trust Security Market Set to Reach USD 63,747.02 Million by 2028

The Global Data Zero Trust Security Market is projected to experience significant growth, with expectations to account for USD 63,747.02 million by 2028. Zero Trust Security, which emphasizes “never trust, always verify,” has gained momentum as businesses continue to navigate cybersecurity challenges in a digital-first world[5].

The market growth is being driven by several key regions:

North America: Expected to hold the largest share due to the presence of major technology companies and increasing investments in cybersecurity infrastructure.

Europe: Gaining traction with rising data privacy regulations, particularly driven by GDPR and other security measures.

Asia-Pacific: Anticipated to see rapid adoption due to the digital transformation in countries like China, India, and Japan.

South America: Showing moderate growth as businesses adopt new security frameworks.

Middle East & Africa: Increasing investments in critical infrastructure protection are driving market growth.

2. Zero Trust on Market

The Zero Trust model focuses on ensuring that every access request is authenticated, authorized, and encrypted. As organizations face an evolving threat landscape, this approach is becoming a critical aspect of cybersecurity strategies globally.

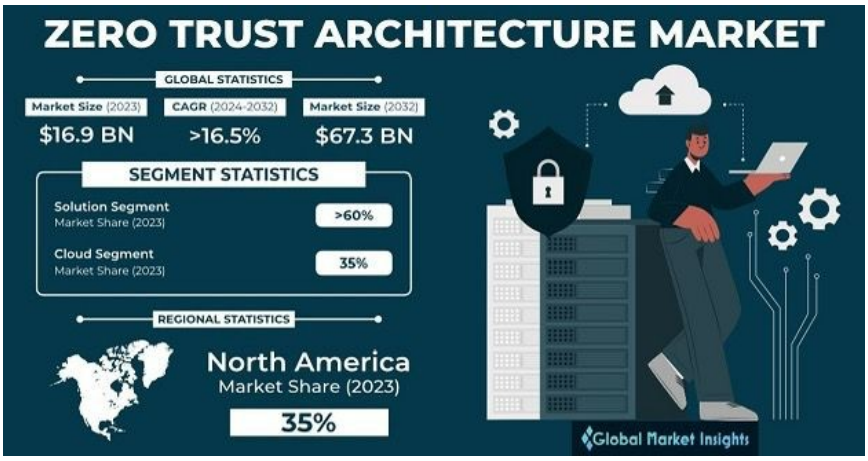


Figure 2. Zero Trust Architecture Market

Zero Trust Architecture Market Poised for Rapid Growth, Reaching $67.3 Billion by 2032

The Zero Trust Architecture market is projected to experience substantial growth over the next decade, with the market size expected to surge from $16.9 billion in 2023 to a massive $67.3 billion by 2032. This reflects a compound annual growth rate (CAGR) of over 16.5% during the 2024-2032 period, driven by increasing concerns about cybersecurity and data breaches[6].

Segment Breakdown for 2023

Solution Segment: Dominating the market with over 60% of the market share in 2023, highlighting the demand for comprehensive Zero Trust solutions that provide end-to-end security.

Cloud Segment: Holding a significant 35% of the market share in 2023, emphasizing the increasing adoption of cloud-based Zero Trust security frameworks as businesses migrate more of their infrastructure and services to the cloud.

Regional Insights (2023)

North America: Continues to lead the global market, holding 35% of the total market share in 2023. The region’s growth is fueled by stringent data protection laws, advanced IT infrastructure, and the widespread adoption of Zero Trust practices across enterprises.

3. Zero Trust Segmentation

The growth of Zero Trust Architecture is largely attributed to the rise in cyber threats and the shift towards decentralized IT environments, requiring continuous authentication and authorization processes for every device, user, and application. The architecture ensures that no entity is trusted by default, minimizing potential entry points for cyberattacks.

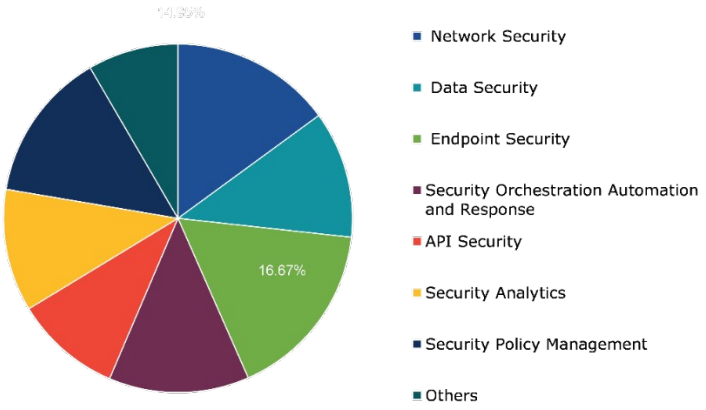


Figure 3. Zero Trust Security Framework

The Zero Trust security framework encompasses a broad range of security measures designed to ensure continuous verification of users and devices[7]. The pie chart provided highlights the key categories that make up the security landscape within this architecture, with notable contributions from the following areas:

Network Security: A crucial aspect of Zero Trust, ensuring secure communication across networks.

Data Security: Focuses on protecting sensitive data from unauthorized access.

Endpoint Security: Plays a significant role, addressing security at the device level to prevent vulnerabilities.

Security Orchestration Automation and Response (SOAR): This segment emphasizes the automation of threat detection and response, streamlining the security process.

API Security: Protects against vulnerabilities in APIs, which are increasingly targeted in cyberattacks.

Security Analytics: Involves data collection and analysis to identify and respond to threats in real time.

Security Policy Management: Deals with the creation, enforcement, and monitoring of security policies across the network.

Others: Represents other emerging or specialized security solutions that fall outside these categories.

Each of these segments plays a vital role in securing various aspects of an organization's infrastructure, contributing to a comprehensive Zero Trust strategy that mitigates cyber risks across multiple fronts.

Conclusion

Zero Trust Architecture is a modern paradigm in information security that fundamentally changes the approach to protecting data and resources. Instead of the traditional perimeter defense model, ZTA assumes that every access request must be thoroughly checked, regardless of where it comes from - inside or outside the network. It is an approach in which no element of the system is trusted a priori, and every access, request and connection is authenticated and authorized based on the context, which minimizes the risks of internal and external threats.

The core principles of ZTA, such as strong identification of users and devices, continuous security verification and restriction of access rights, help organizations better protect their data in the face of growing cyber threats. Implementing Zero Trust requires reviewing the infrastructure, updating security policies and using advanced technologies such as multi-factor authentication, encryption and real-time monitoring.

While the transition to Zero Trust requires significant effort and investment, it gives organizations the opportunity to more effectively protect their information assets, which is especially important in today's distributed and cloud environment. Thus, ZTA is not just a trend, but an evolutionary step in cybersecurity strategy aimed at long-term protection against cyber threats.

References

[1] Garfinkel, S. (2021). Zero-Trust Networks: Building Secure Systems in Untrusted Networks. O'Reilly Media..

[2] Kindervag, J. (2010). "Build Security into the Network Fabric with Zero Trust." Forrester Research.

[3] Cooper, M., & Rhee, H. (2023). Proactive Security Strategies for Insider Threats. Springer.

[4] Nichols, R., & Lekkas, P. (2022). Zero Trust Security: A Modern Approach to Cyber Defense. McGraw-Hill.

[5] https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-zero-trust-security-market

[6] https://www.gminsights.com/industry-analysis/zero-trust-architecture-market

[7] https://www.researchdive.com/5368/zero-trust-security-market

Turysbayev Aryn – student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
aryn.turysbayev@gmail.com

Rakymbekov Bakytzhan- student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
Baha.adeline@gmail.com

Supervisor: Ziyatbekova G.Z., Doctor PhD

КРИПТОАНАЛИЗ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ LBC

К.Т. Алгазы
Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, Алматы, Казахстан

Аннотация. *Алгоритмы легковесного шифрования считаются относительно новым направлением в развитии криптографии с закрытым ключом. Такая потребность появилась в результате появления большого количества устройств с небольшой вычислительной мощностью и памятью. LBC – это 64-битный симметричный блочный алгоритм. Он поддерживает 80-битный секретный ключ. Количество раундов – 20. В статье оценена его защищенность от линейного криптоанализа. Результаты исследований выявила хорошие криптографические свойства данного алгоритма. Алгоритм будет применяться для устройств, обладающих малыми аппаратными ресурсами, в информационно-коммуникационных системах, где циркулируют сведения конфиденциального характера, а также крайне необходимо в оперативно приемлемые сроки обмениваться информацией в защищенном виде.*

Ключевые слова: *Криптография, криптостойкость, линейный анализ, S-блок, легковесный алгоритм.*

ВВЕДЕНИЕ

Для простых линейных операций, таких как *xor* с ключом или перестановка битов, можно написать очень простые линейные уравнения, которые выполняются с вероятностью единица. Для нелинейных элементов шифра, таких как S-блоки, найти линейные приближения с вероятностью p. При этом для успешного проведения анализа, вероятность уравнений p должна быть как можно дальше удалена от значения 0,5 [1].

Сначала проводится поиск аппроксимации для отдельных операций внутри шифра, затем объединяются в аппроксимации, которые справедливы для одного раунда шифра. Путем соответствующей конкатенации одноразундовых аппроксимаций злоумышленник в конечном итоге получает аппроксимацию для всего шифра [2].

Для определения сложности атаки необходимо оценить вероятность линейной характеристики. Линейную аппроксимацию одного раунда можно рассматривать как случайную величину вида $\alpha_1 X_1 \oplus \alpha_2 X_2 \oplus \ldots \oplus \alpha_n X_n \oplus \beta_1 Y_1 \oplus \beta_2 Y_2 \oplus \ldots \oplus \beta_m Y_m$, которая принимает либо значение ноль, либо единицу (в зависимости от битов ключа). Тогда линейная характеристика *xor* этих случайных величин и вероятность линейной характеристики может быть вычислена с помощью леммы о набегании знаков (лемма 1).

Рассмотрим две независимые случайные величины X_1 и X_2. Отсюда $P(X_i=0)=p_i$ и $P(X_i=1)=1-p_i$ для $i \in \{1,2\}$. Тогда из независимости X_1 и X_2 следует, что $P(X_1=0, X_2=0)=p_1 p_2$ и что $P(X_1=1, X_2=1)=(1-p_1)(1-p_2)$.

Таким образом, $P(X_1 \oplus X_2=0)=p_1 p_2+(1-p_1)(1-p_2)$ [3].

Лемма 1. Пусть $X_i (1 \le i \le n)$ – независимые случайные величины, принимающие значения из Z_2 значения которых равны к нулю с вероятностью $\frac{1}{2}+\varepsilon$. Тогда вероятность того, что $X_1 \oplus X_2 \oplus \ldots \oplus X_n = 0$ равна $\frac{1}{2}+\varepsilon$, где $\varepsilon = 2^{n-1}\prod_{i=1}^{n}(p_i - 1/2)$.

Лемма 2. Пусть N – количество заданных случайных открытых текстов и p – вероятность того, что уравнение (1) выполняется, и пусть $\left|p-\frac{1}{2}\right|$ достаточно мало. Тогда вероятность успеха алгоритма есть:

$$\int_{-2\sqrt{N}\vee p-\frac{1}{2}\vee ¿¿} \infty \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx.$$

Линейный криптоанализ LBC

В алгоритме блочного шифрования «LBC» размер блока составляет 64 бита, длина ключа – 80 бит, количество раундов шифрования – 20 [4]. Структура алгоритма состоит из операции сложения по модулю 2 (xor), S-блока замены и циклического побитового сдвига. Каждый раунд шифрования завершается сложением по модулю 2 раундовых ключей с полученными результатами.

В алгоритме шифрования LBC единственным нелинейным этапом является S-блок замены. Все остальные операции линейны и легко поддаются анализу. Построим линейную аппроксимационную таблицу (ЛАТ) для заданного S-блока. В ходе построения таблицы прослеживаются всевозможные комбинации двоичных векторов входа и выхода. Каждую пару векторов используют в качестве маски, которую накладывают на всевозможные пары вход-выход блока замены и определяются следующем соотношением:

$$LAT(\alpha,\beta) \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ X \vee X \in Z_2^8, \bigoplus_{i=1}^{8} X[i]\cdot\alpha[i] = \bigoplus_{i=1}^{8} S(X[i])\cdot\beta[i] \right\},$$

где $\alpha, \beta \in Z_{256}$ и знак умножения обозначает операцию скалярного произведения [5].

В линейной аппроксимационном таблице (Таблица 1) первый столбец содержит входные маски, а первая строка содержит выходные маски. Если 4-битное линейное уравнение удовлетворяется 0 раз, то можно сделать вывод, что данное 4-битное линейное соотношение отсутствует для этого конкретного S-блока. Если 4-битное линейное уравнение удовлетворяется 16 раз, то также можно сделать вывод, что данное 4-битное линейное соотношение присутствует для этого конкретного 4-битного S-блока. В обоих случаях полная информация передается криптоаналитикам. Результат лучше для криптоаналитиков, если вероятность присутствия или отсутствия уникальных 4-битных линейных уравнений далеко от $1/2$ или близко к 0 или 1. Если вероятности присутствия или отсутствия всех уникальных 4-битных линейных отношений равны $1/2$ или близко к $1/2$, то говорят, что на 4-битном S-блоке трудно произвести линейный криптоанализ. Поэтому, результат для криптоаналитика будет лучше, если число восьмерок в таблице меньше. Если количество восьмерок намного больше, чем других чисел в таблице, то говорят, что 4-битный криптографический S-блок более устойчив к линейному криптоанализу [6, 7].

Таблица 1– Линейная аппроксимационная таблица для S-блока

Входная маска/ Выходная маска	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	8	8	8	10	10	10	10	6	6	10	10	4	12	8	8
2	8	8	4	8	8	12	8	10	10	10	6	10	10	6	10
3	8	12	8	6	6	6	10	8	8	8	12	10	10	6	10
4	8	10	6	12	8	6	6	10	6	8	8	6	6	4	8
5	8	10	6	6	10	8	8	4	8	6	6	6	6	8	12
6	4	10	6	8	8	6	6	8	8	6	6	8	12	10	6
7	4	6	10	6	6	8	8	10	10	8	8	4	8	6	10
8	10	8	6	8	10	8	6	10	12	6	12	6	8	10	8
9	6	8	10	10	8	10	4	8	6	8	10	10	8	10	12
10	10	8	10	12	6	8	10	8	10	4	6	8	10	8	10
11	6	12	10	10	8	10	8	6	12	10	8	8	6	8	6
12	10	6	8	8	6	6	4	4	10	10	8	8	10	6	8
13	6	6	4	10	4	8	10	6	8	8	10	8	6	10	8
14	6	6	8	8	10	10	8	6	8	4	10	10	8	4	6
15	10	10	8	6	4	12	6	8	6	6	8	6	8	8	6

В линейной аппроксимационной таблице ячейки с числами, наиболее удаленными от числа 8, состоят из 12 или 4. Поэтому согласно таблице, эффективные линейные уравнения, необходимые для дальнейшего анализа и вероятность каждого из них равна $3/4$, т.е. с наибольшими отклонениями от $1/2$:

$x[3] \oplus s[0] \oplus s[1] = 1$
$x[3] \oplus s[0] \oplus s[1] \oplus s[3] = 0$
$x[2] \oplus s[2] \oplus s[3] = 1$
$x[2] \oplus s[1] \oplus s[2] = 0$
$x[2] \oplus x[3] \oplus s[2] = 0$
$x[2] \oplus x[3] \oplus s[0] \oplus s[2] \oplus s[3] = 0$
$x[1] \oplus s[1] = 0$
$x[1] \oplus s[0] \oplus s[1] \oplus s[2] = 1$
$x[1] \oplus x[3] \oplus s[0] = 1$
$x[1] \oplus x[3] \oplus s[0] \oplus s[1] \oplus s[2] \oplus s[3] = 0$
$x[1] \oplus x[2] \oplus s[3] = 1$
$x[1] \oplus x[2] \oplus s[0] \oplus s[1] \oplus s[3] = 0$
$x[1] \oplus x[2] \oplus x[3] \oplus s[3] = 1$
$x[1] \oplus x[2] \oplus x[3] \oplus s[0] \oplus s[1] = 1$
$x[0] \oplus s[0] \oplus s[3] = 0$
$x[0] \oplus s[0] \oplus s[2] \oplus s[3] = 0$
$x[0] \oplus x[3] \oplus s[1] \oplus s[2] \oplus s[3] = 1$
$x[0] \oplus x[3] \oplus s[0] \oplus s[1] \oplus s[2] \oplus s[3] = 0$
$x[0] \oplus x[2] \oplus s[1] = 0$
$x[0] \oplus x[2] \oplus s[0] \oplus s[2] = 1$
$x[0] \oplus x[2] \oplus x[3] \oplus s[2] = 0$

$x[0] \oplus x[2] \oplus x[3] \oplus s[0] \oplus s[3] = 0$
$x[0] \oplus x[1] \oplus s[1] \oplus s[2] \oplus s[3] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus s[0] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus x[3] \oplus s[2] \oplus s[3] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus x[3] \oplus s[1] \oplus s[3] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus x[2] \oplus s[0] \oplus s[2] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus x[2] \oplus s[0] \oplus s[1] \oplus s[2] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus x[2] \oplus x[3] \oplus s[1] \oplus s[3] = 1$
$x[0] \oplus x[1] \oplus x[2] \oplus x[3] \oplus s[1] \oplus s[2] = 0$

Сначала введем обозначение, $k[i, j]$ – ¿элементы раундовых ключей $x[i, j]$ – ¿ входные значения блока, $s[i, j]$ и $y[i, j]$ – выходные значения S-блока замены и R1-функции, где i – номер раунда $(i = \overline{1,20})$ и j – номер позиции в блоке, $(j = \overline{0,64})$.

В работе [4] представлены результаты проведенного анализа алгоритма шифрования на лавинный эффект и показано, что после седьмого раунда все биты выходного блока зависят от всех входных битов. Поэтому, проведем анализ алгоритма шифрования на семи раундах, так как все выходные биты зависят от всех входных битов после седьмого раунда. Также, выбираем выходные уравнение для второго подблока, поскольку в выходном уравнении имеется наименьшее число переменных.

$$Y_1 = SSS\left(RS\left(RS\left[RS\left(RS\left(X_1\right) \oplus S\left(X_2\right)\right) \oplus SS\left(X_3\right)\right] \oplus SSS\left(X_4\right)\right] \oplus SSSS\left(X_1\right)\right) \qquad (2)$$

Из числа линейных эффективных уравнений, полученных от S-блоков, выберем $x[1] \oplus s[1] = 0$. Поскольку входные и выходные переменные участвуют только по одному разу, то это в свою очередь является удобным для дальнейшего анализа. Напишем это уравнение для первого подблока в первом раунде (с учетом, что добавляется ключ): $x[0,1] \oplus k[0,1] \oplus s[0,1] \oplus 1 = 0$. Вероятность этого уравнения равна $3/4$. Далее, согласно схеме шифрования выполняется функция R определим суммы, соответствующие выходному элементу $y[0,1]$. На рисунке 1 показана R-функция для первого подблока.

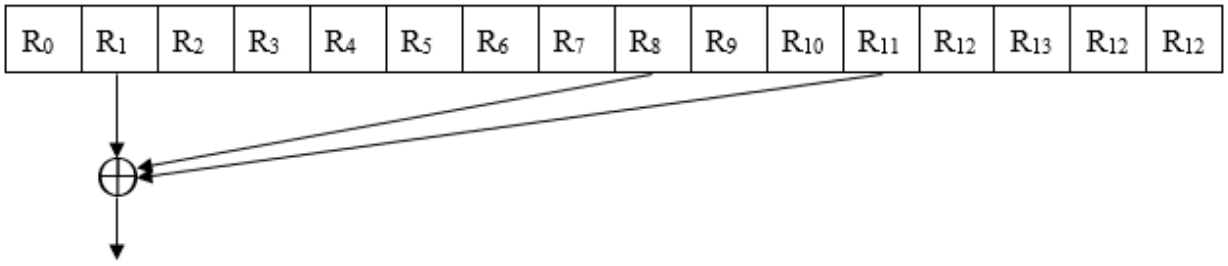


Рисунок 1. Функция R для первого подблока

Согласно схеме R-функции, показанной на рисунке 1, выходной элемент $y[0,1]$ состоит из суммы первого, восьмого и одиннадцатого элементов, $y[0,1] = s[0,1] \oplus s[0,8] \oplus s[0,11]$. $s[0,8]$ и $s[0,11]$ — 0-й и 2-й выходные биты S-блока

замены. В связи с этим, для этих переменных лучше выбрать уравнения $x[1] \oplus x[3] \oplus y[0] = 0$ и $x[2] \oplus x[3] \oplus y[2] = 1$.

Согласно схеме алгоритма шифрования, переменная $y[0,1]$ объединяется с переменной $y[0,17]$, чтобы получить выходное выражение $y[1,1]$ для первого раунда. Напишем наиболее линейно приближенное уравнение для $y[0,17]$, используя первое выбранное уравнение:

$$y[1,1] = x[0,1] \oplus x[0,8] \oplus x[0,11] \oplus x[0,17] \oplus k[0,1] \oplus k[0,8] \oplus k[0,11] \oplus x[0,17] \quad (3)$$

Тогда согласно лемме 1, вероятность данного эффективного уравнения будет равна $\frac{1}{2} + 2^2 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right)^3 = \frac{1}{2} + 2^{-4}$.

Если используем уравнение (3) для второго раунда, то получим следующее уравнение:

$$y[2,1] = y[1,1] \oplus y[1,8] \oplus y[1,11] \oplus y[1,33] \oplus k[1,1] \oplus k[1,8] \oplus k[1,11] \oplus k[2,33]$$

Учитывая, что каждое $y[1,i], i = 1,8,11,33$ состоит из входных переменных в полученном уравнении и под воздействием R-функции, число переменных в первом подблоке удваивается на каждом шаге. Также, в результате проведенного анализа установлено, что в уравнении, полученном после седьмого раунда, участвует 31 переменная. Запишем уравнение линейной аппроксимации выходного элемента для второго подблока в седьмом раунде, используя уравнение (2):

$$y[7,1] \oplus y[6,1] \oplus y[6,8] \oplus y[6,11] \oplus y[6,49] \oplus k[6,1] \oplus k[6,8] \oplus k[6,11] \oplus k[7,49] = 0$$

Вычисляем отклонение вероятности полученного уравнения от 0,5 (согласно по лемме 1:

$$\varepsilon = 2^{31-1} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right)^{31} = 2^{-32}.$$

Следующий этап заключается в нахождении количества пар открытых текстов и их вероятностей, который позволит нам решить эти уравнения. Для этих целей воспользуемся леммой 2. Для удобстава проведения вычислений, выбираем из таблицы нормальных распределений значение, имеющее одного из наиболее высоких вероятностей, например 0, 977. Тогда,

$$-2\sqrt{N}\left|p - \frac{1}{2}\right| \approx -2 \Rightarrow N = \left(\frac{1}{0,5 + 2^{-32} - 0,5}\right)^2 = 2^{64}.$$

Заключение

Для проведения эффективной атаки с помощью линейного криптоанализа необходимо 2^{64} пары открытого/закрытого текста. В связи с тем, что на вход алгоритма шифрования подаются блоки длинной 64 бита, то максимально возможное количества пар открытого/закрытого текста равно 2^{64}. Таким образом, нет необходимости в проведении линейного криптоанализа для большего числа раундов.

Благодарность

Исследовательская работа выполнена в рамках проекта грантового финансирования AP23488112 – «Разработка и исследование квантово-устойчивой схемы цифровой подписи на основе дерева Verkle» Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Литература

1. Liu Yu, Liang Huicong, Wang Wei, Wang Meiqin New Linear Cryptanalysis of Chinese Commercial Block Cipher Standard SM4, Security and Communication Networks, Hindawi, Volume 2017, Article ID 1461520, 10 pages https://doi.org/10.1155/2017/1461520
2. Alex Biryukov, Christophe De Canniere Linear Cryptanalysis for Block Ciphers. Encyclopedia of Cryptography and Security, by editor Henk C. A. van Tilborg, Sushil Jajodia, Springer, 2011, P. 722-725. http://hdl.handle.net/10993/17077
3. Julia Borghoff Cryptanalysis of Lightweight Ciphers, 2011, Technical University of Denmark, PP. 60-65 https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/5456432/phd-thesis_Julia_Borghoff.pdf
4. Nyssanbayeva, S., Kapalova, N., Haumen, A. & Suleimenov, O. The LBC-3 lightweight encryption algorithm // Open Engineering, vol. 12, no. 1, 2022, percentile – 53. – pp. 570-577. https://doi.org/10.1515/eng-2022-0372
5. А.А. Кузнецов, И.В. Лисицкая, С.А. Исаев, Линейные свойства блочных симметричных шифров, представленных на украинский конкурс // Прикладная радиоэлектроника, 2011, Том 10, № 2, 135-140 с.
6. H.M. Heys. A tutorial on linear and differential cryptanlysis.cryptologia, 26(2002), 189-221.
7. Kapalova N., Sakan K. Algazy K. and Dyusenbayev D. Development and study of an encryption algorithm. Computation 2022, 10, 198 - PP 1-16. https://doi.org/ 10.3390/computation10110198.

Алгазы Кунболат Тилеуханулы – PhD. Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
050000, Алматы; e-mail: kunbolat@mail.ru

МЕМЛЕКЕТТІК ИНФРАҚҰРЫЛЫМДАҒЫ ҚАУІПТЕРДІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ АРҚЫЛЫ НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ АНЫҚТАУ

С.А.Адилжанова, А.Е. Рахыш, Т.Ш. Миркасымова
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аннотация. *Киберқауіпсіздік мемлекеттің маңызды инфрақұрылымдарды қорғаудың ажырамас бөлігі. Көптеген қауіп қатерлер компьютерлік маңызды инфрақұрылымдарға бағытталғандықтан, мемлекеттер киберқауіптерді дәл анықтау және болжау үшін олардың қауіпсіздігін арттыру қажет. Бұл құжат су объектілері мен көлік жүйелері сияқты маңызды инфрақұрылымдарға нақты уақыт режимінде қауіпті анықтауды арттырудағы жасанды интеллекттің (ЖИ) рөлін талқылауға бағытталған. ЖИ енгізу және қолдану арқылы қауіпті анықтап қана қоймай, оның алдын алу оңайырақ болады. Осылайша, мақалада осы саладағы ЖИ мүмкіндіктері мен шектеулерін көрсету үшін соңғы ЖИ технологиялары, оларды пайдалану тәсілдері және жағдайлар, мысалы, Colonial Pipeline ransomware шабуылы талқыланды. Сауатты қорғауды қамтамасыз ету және киберқауіпсіздік саясаттары мен ережелерін жетілдіру үшін шаралар мен саясаттарды қалыптастыру сияқты басқа стратегиялар да қарастырылды. салыстырғанда уақыт пен қаржылық ресурстарды айтарлықтай үнемдеуге мүмкіндік береді.*

Кілттік сөздер*: киберқауіпсіздік, қауіпті анықтау, критикалық инфрақұрылым, колониялық құбыр, ransomware шабуылы.*

Кіріспе

Маңызды инфрақұрылым мен ұлттық қауіпсіздік бірін-бірі толықтырады, өйткені олардың екеуі де тиімді қауіпсіздік процестерінде және деректерді басқаруда рөл атқаратын құрамдас бөліктер болып табылады. Дегенмен, маңызды инфрақұрылым - бұл 1990 жылдары Америка Құрама Штаттарынан шыққан термин. Бұл термин уақыт өте келе өзгерді және оның ең соңғы түрінде қауіпсіздік перспективасы деп аталады[1]. Маңызды инфрақұрылымға кибершабуылдардың таралуы мен күрделілігі ұлттық қауіпсіздік үшін маңызды мәселеге айналды. Бұл кибершабуылдар өздерінің шабуылдарына қарсы тұру мүмкіндіктерін білгенімен, оны болжа мүмкін екенін көрсетеді. Дегенмен, ЖИ негізіндегі қауіпсіздік шешімдері киберқауіпсіздік қауіптерін болдырмау, алдын алу қажеттілігіне байланысты жаһандық қауіпсіздіктің маңызды инфрақұрылымының ажырамас бөлігіне айналды. Көптеген салалар киберқауіптерді бастан өткерді және олардың әсері олардың бизнесіне әсер етті, сондықтан нақты уақытта қауіптерді анықтауға көмектесу үшін ЖИ негізіндегі және автоматтандырылған киберқауіпсіздік шешімдеріне басымдық беру қажеттілігі туындады. Бұл қауіптерге спам жіберу, фишинг, зиянды бағдарлама, корпоративтік есептік жазбаны басып алу , қызметтерді көрсетуден бас тарту (DDoS) шабуылдары, төлем бағдарламалық қамтамасыз ету және автоматтандырылған есеп айырысу машинасы (АТМ) және т.б. кіреді[2].

1. Киберқауіпсіздікте ЖИ және МО зерттеуге арналған аналитикалық тәсілдер

Әлем цифрландырылған экономикаға көшкен сайын, елдер өздерінің киберкеңістіктерін қорғау үшін тиімді киберқауіпсіздік шараларын қабылдау қажеттілігін сезіне бастады. Бұл озық маңызды инфрақұрылымы мен цифрлық экономикасы бар дамыған елдер үшін маңызды болды, өйткені олар шабуылдаушылар тарапынан қайталанатын киберқауіптерге тап болады. Осылайша, киберқауіпсіздік ұлттық инфрақұрылымды шабуылдардан қорғауда маңызды рөл атқарады. Forescout (2024)

мәліметтері бойынша, әлемнің маңызды инфрақұрылымы 2023 жылы секундына 13 шабуылмен 420 миллионнан астам кибершабуылға ұшырады және 2022 жылдан бастап 30%-ға өсті. Бұл шабуылдар негізінен байланыс, медициналық, өндіріс, көлік, электр энергетикасы және өндіріс қалдықтары. Financial Times (2020) сонымен қатар Америка Құрама Штаттарының ең ірі мұнай құбырына, Жапонияның ең үлкен портына, Сан-Франциконың жеңіл рельсті жүйесіне, дүние жүзіндегі ірі ауруханаларға, сондай-ақ Украинаның маңызды инфрақұрылымына жасалған шабуылдарды жазады. Зерттеу міндеттері мен кезеңдері 1-суретте көрсетілген.

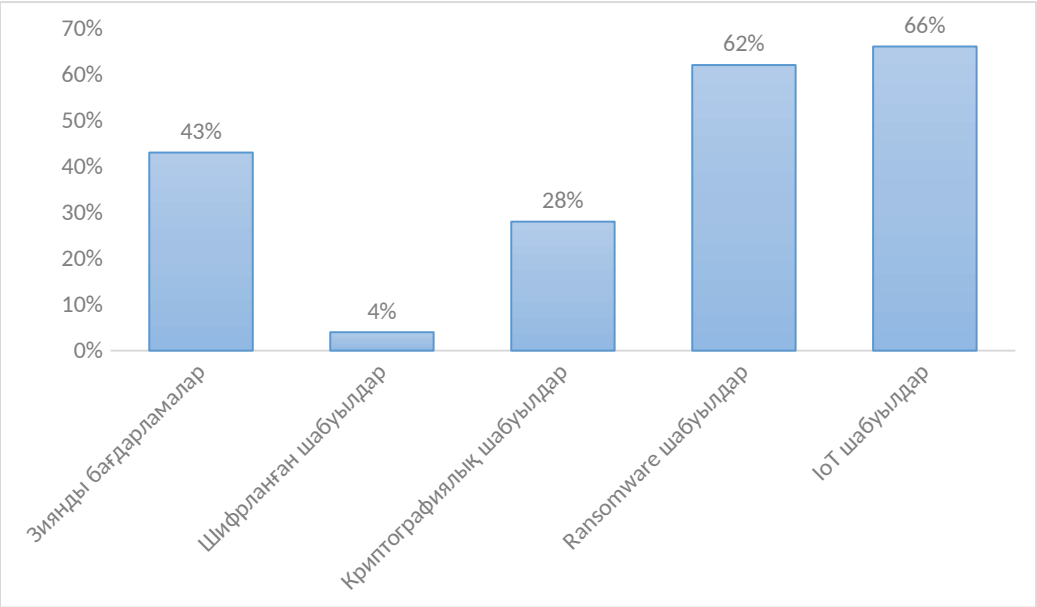
1-сурет. Зерттеудің негізгі кезеңдері

2. Ұлттық қауіпсіздіктегі киберқауіпсіздіктің маңызы

Қазіргі уақытта киберқауіпсіздіктің қолданыстағы және дамып келе жатқан нұсқаларында ЖИ және машиналық оқыту (МО) біріктірілуіне байланысты киберқауіпсіздіктің динамикалық сипаты бар. ЖИ сияқты, МО киберқауіпсіздік жүйесін ең жақсы жолмен өзгертті. Нәтижесінде, бұл технологияларды киберқауіпсіздік шеңберіне қосу нақты уақытта анықтауды күшейте алатынын атап өтуге болады. ЖИ және МО сонымен қатар киберқауіпсіздікті талдау кезеңіне енгізілген, олар әдеттегі әдістермен анықтай алмайтын қауіптерді анықтау үшін әртүрлі әкімшіліктердің немесе басқа ұйымдардың цифрлық жүйелерінен алынған бірдей деректерді салыстыра алады. Бұл үшін МО үлгілері адам басқара алмайтындай жоғары фокус пен жылдамдықпен осындай деректерге күрделі алгоритмдерді пайдаланады [3].

1-кесте. Кибершабуылдардың үлесі

Кибершабуылдар	Пайыздық үлесі	Шабуыл саны
Зиянды бағдарламалар	43%	5.6 млн
Шифрланған шабуылдар	4%	3.8 млн
Криптографиялық шабуылдар	28%	304.6 млн
Ransomware шабуылдар	62%	304.6 млн
IoT шабуылдар	66%	56.9 млн



2-сурет. Кибершабуылдардың үлесі

Мысалы, ЖИ алгоритмдері желілік трафиктің әдеттен тыс үлгілерін немесе бұзу әрекеттерін немесе қауіпсіздікті бұзуды көрсетуі мүмкін пайдаланушы әрекетіндегі ауытқуларды анықтау арқылы аномалиялар мен ықтимал қауіптерді бірден анықтай алады. ЖИ және МО киберқауіпсіздік жүйелеріне біріктіру арқылы ұйымдар анықтау мүмкіндіктері мен жауап беру уақытын айтарлықтай жақсартады, осылайша келе жатқан қауіптен қорғанысын нығайта алады[4]. 2-кесте ЖИ/МО интеграциясының арқасында киберқауіпсіздіктің негізгі көрсеткіштерін жақсартуды көрсетеді, бұл технологиялардың киберқауіпсіздік операцияларындағы тиімділігін көрсетеді.

3-кесте. ЖИ әсерінен болған жақсартулар

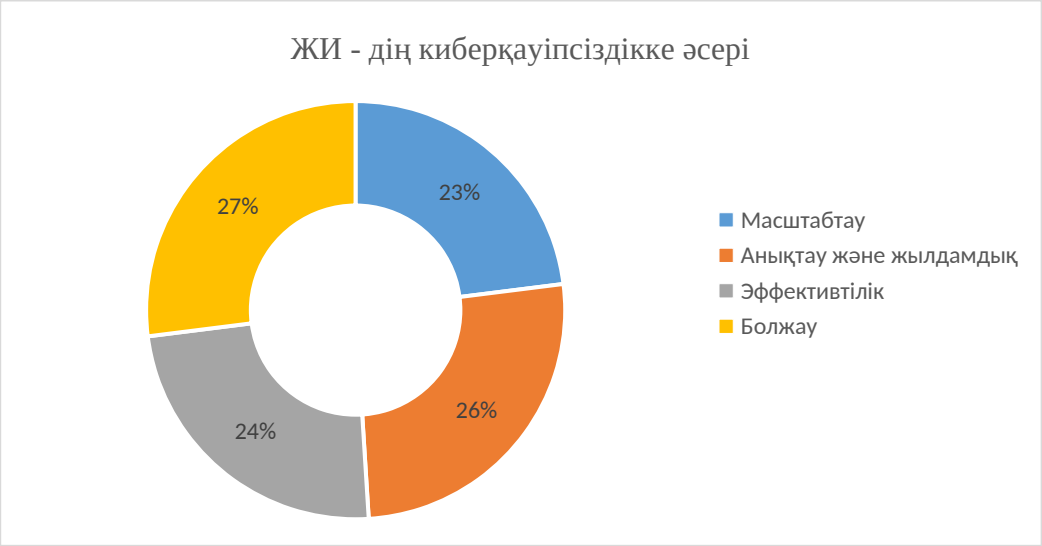
Параметр	ЖИ енгізгеннен кейін	ЖИ енгізгенге дейін	Жақсарту (%)
Қауіпті анықтау уақыты	48 сағат	3 сағат	93.75
Жалған оң нәтиже	20%	5%	75
Қауіпке жауап беру уақыты	24	1	95.83
Анықталмаған шабуылдар саны	50 жылына	15 жылына	70

Сондай-ақ, ЖИ-ге шамадан тыс тәуелділік қаупі бар, мұнда автоматтандырылған процестерге шамадан тыс тәуелділік адам бақылауының төмендеуіне әкелуі мүмкін. Бұл қауіпсіздіктің айтарлықтай бұзылуына әкелуі мүмкін, әсіресе оқыту деректер жиынында қамтылмаған жаңа немесе күрделі қауіптер тууы мүмкін. Бұл тәуекелдерді азайту үшін жаңа және дамып келе жатқан киберқауіптерге бейімделу үшін ЖИ үлгілерін үздіксіз бақылау және тұрақты жаңарту өте маңызды.

3. Жасанды интеллект пен машиналық оқытуды стратегиялық енгізу: жетілдірулер мен нақты әсерлері

ЖИ жүйелері инфильтрациядан кейін бірнеше минут ішінде төлемдік бағдарламалық жасақтама шабуылдарын анықтауда маңызды болды, бұл ықтимал зиянды айтарлықтай азайтты. Сонымен қатар, ЖИ негізіндегі жауап беру тетіктері шабуылдың желі

бойынша таралуын шектей отырып, оқшаулау хаттамаларын бірден іске қоса алады, 2) Жоғары тиімділік: ЖИ әдеттегі бақылау және жауап беру тапсырмаларын орындай отырып, киберқауіпсіздік топтары өз ресурстарын неғұрлым стратегиялық бөліктерге бөле алады, қауіп-қатерді іздеу және қауіпсіздік архитектурасын жақсартады. 3) Масштабтау: ЖИ және МО шешімдері жоғары масштабталады, бұл оларды үлкен сандық орталарды қорғауға қолайлы етеді. Ұйымдар өсіп, олардың цифрлық іздері кеңейген сайын, ЖИ жүйелері адам ресурстарының пропорционалды ұлғаюын талап етпей-ақ жаңа активтер мен деректер ағындарын бақылау және қорғау үшін сәйкес ауқымды кеңейте алады, 4) Жетілдірілген Болжау мүмкіндіктері: Киберқауіпсіздіктегі ЖИ-дың ең маңызды әсерлерінің бірі болуы мүмкін. болжау мүмкіндіктерін арттыру. Үлкен көлемдегі деректерден тенденциялар мен үлгілерді талдай отырып, ЖИ ықтимал қауіпсіздік бұзылыстарын олар орын алмас бұрын болжай алады, бұл ұйымдарға өздерінің қорғанысын белсенді түрде нығайтуға мүмкіндік береді[5-6].



3-сурет. ЖИ-дің киберқауіпсіздікке әсері

4. Қорытынды

Бұл зерттеу маңызды инфрақұрылымдағы қауіпті нақты уақытта анықтау үшін ЖИ негізіндегі киберқауіпсіздік шешімдерін мұқият зерттеді. Зерттеу МО киберқауіпсіздік маңызды инфрақұрылым үшін өте маңызды екенін көрсетті.

1) Құпиялылық: ЖИ жүйелері үйрену және бейімдеу үшін деректердің үлкен көлемін қажет ететіндіктен, бұл деректердің құпиялылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету өте маңызды.

2) Үздіксіз оқыту және бейімдеу: киберқауіпсіздіктегі ЖИ үлгілері дамып келе жатқан қауіптерге қарсы тиімді болу үшін тұрақты оқытуды қажет етеді. Бұл үздіксіз оқу үдерісі үлгілердің ескірген немесе біржақты болмайтынын қамтамасыз ету үшін басқарылуы керек.

3) Манипуляциялық тәуекелдер: тәжірибелі кибершабуылдаушылардың ЖИ басқаратын қауіпсіздік жүйелерін манипуляциялау қаупі бар.

Әдебиеттер тізімі

1. Sentuna A. et al. A novel Enhanced Naïve Bayes Posterior Probability (ENBPP) using machine learning: Cyber threat analysis //Neural Processing Letters. – 2021. – Т. 53. – С. 177-209.

2. Ojo B., Aghaunor C. T. AI-driven cybersecurity solutions for real-time threat detection in critical infrastructure //International Journal of Science and Research Archive. – 2024. – Т. 12. – №. 02. – С. 1716-1726.
3. Kimani K., Oduol V., Langat K. Cyber security challenges for IoT-based smart grid networks //International journal of critical infrastructure protection. – 2019. – Т. 25. – С. 36-49.
4. Saritac U., Liu X., Wang R. Assessment of cybersecurity framework in critical infrastructures //2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON). – IEEE, 2022. – С. 1-4.
5. Alexandru A., Vevera V., Ciupercă E. M. National security and critical infrastructure protection //International Conference Knowledge-Based Organization. – 2019. – Т. 25. – №. 1. – С. 8-13.
6. González-Granadillo G., González-Zarzosa S., Diaz R. Security information and event management (SIEM): analysis, trends, and usage in critical infrastructures //Sensors. – 2021. – Т. 21. – №. 14. – С. 4759.

Адилжанова Салтанат– PhD, доцент м.а. Әл Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті;
050000, Алматы;

Рахыш Айгерім Ерғалиқызы – 1-курс докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;
050000, Алматы; e-mail: kaznumkmaigerim@gmail.com

Миркасымова Толқын Шабденбековна – 1-курс докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті;

NEURO-FUZZY MODELS IN CYBERSECURITY RISK ASSESSMENT: ANALYZING THEMATIC INTERNET RESOURCES

Samuilova A.M., Nursapa S.T.
e-mail: anastassyiasamuilova@gmail.com
e-mail: samal200174@gmail.com
Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

This paper explores the implementation of neuro-fuzzy models in cybersecurity risk assessment based on data analysis of thematic internet resources. The objective of the study is to evaluate how the frequency of messages, the number of comments, and the authors' ratings can serve as key indicators for identifying potential threats in cyberspace. Findings suggest that increased message frequency and specific author profiles are closely associated with emerging cybersecurity risks. This pattern recognition enables a more precise forecasting of future threats. The results may provide valuable insights for enhancing cybersecurity strategies and proactively addressing emerging threats in the digital landscape.

Keywords: *neuro-fuzzy models, risk assessment, threats, heuristic rules, ontology, Internet-Resources, information security.*

Introduction

Currently, specialized databases developed with the participation of research centers and government agencies serve as primary sources of knowledge about information security threats and vulnerabilities. However, the lists of threats and vulnerabilities in these databases do not always encompass all existing aspects. As a result, many researchers in the field of information security turn to thematic internet resources, such as forums and online platforms, as additional sources of information on threats and vulnerabilities.

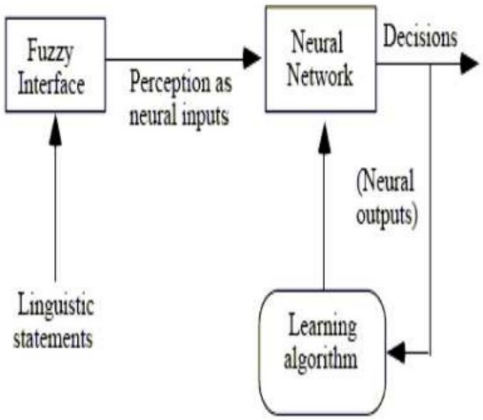
Today, there are numerous specialized information resources on the Internet where users actively discuss issues related to information security, methods of unauthorized access to protected data, and other aspects of this field. These forums attract both users interested in protecting computer information and those studying attack methods against information systems. Such forums can be viewed as sources of information on new malware, vulnerabilities, and cyberattacks. Among the users of these thematic internet resources are potential offenders as well as participants possessing knowledge about information security threats and vulnerabilities. They exchange their insights through forums and online platforms. These factors enable the prediction of threats and vulnerabilities in the field of information security based on data analysis from thematic internet resources, utilizing patterns characteristic of discussions on threats and vulnerabilities.

To predict threats and vulnerabilities in information security, data obtained from analyzing user activity on specialized internet resources are utilized. This analysis involves a statistical examination of forum posts and the application of fuzzy logic methods. These methods enable the identification of patterns inherent in thematic internet resources, specifically that when a threat or vulnerability emerges, a forum participant creates a new topic and posts a message that is subsequently affirmed or refuted by other participants. Based on the significance of the information being discussed, an internal ranking of forum message authors is established. This pattern is also observed in the increased frequency of posts when the information under discussion is of high importance.

Neuro-Fuzzy Systems in Cybersecurity

Neuro-fuzzy logic combines the principles of fuzzy logic with neural networks, creating systems that can learn from data while also handling uncertainty. This hybrid approach leverages the adaptive learning capabilities of neural networks alongside the flexible reasoning capabilities

of fuzzy logic. In a neuro-fuzzy system, fuzzy logic is used to create a model that can represent knowledge in a way that is understandable to humans. The neural network component is then utilized to adjust the parameters of this fuzzy model based on training data. This process enables the system to learn from past experiences, improve its predictions, and adapt to new data [6].



Pic.1 Model of Fuzzy Neural Systems

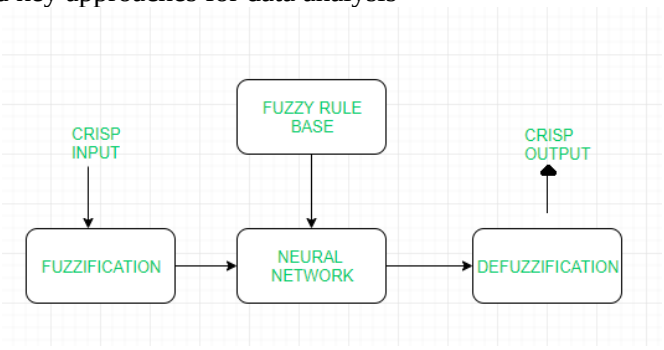
One of the primary applications is in **Intrusion Detection Systems (IDS)**. Fuzzy neural systems can analyze large amounts of network traffic and identify potential cyberattacks, such as malware or unauthorized access, by learning normal patterns and detecting deviations. Even when data is incomplete or ambiguous, fuzzy logic helps make informed decisions on whether an activity is suspicious.

Another critical use is in detecting **anomalous user behavior**, such as unusual login times or access from unexpected locations. Fuzzy neural systems learn normal user behavior patterns and flag deviations, even when there's uncertainty in the data, which could indicate compromised accounts or insider threats [3, 4].

They are also effective in **spam and phishing detection**, where they analyze email features (e.g., sender information, content structure) to classify emails as either safe or malicious. By learning from previous cases, the neural component continuously improves the detection process.

In **threat prediction and risk assessment**, fuzzy neural systems excel by analyzing fuzzy data from sources such as thematic internet resources. They predict emerging cybersecurity threats based on patterns found in discussions on hacker forums or cybersecurity news outlets. Factors like the frequency of specific keywords, number of responses, and the reputation of forum participants help identify potential vulnerabilities. The neural component allows these systems to improve over time by learning from new threats and evolving attack strategies.

1. Fuzzification and key approaches for data analysis



Pic. 2 Structure diagram of the neural-fuzzy model

Fuzzification is the process of transforming crisp values into fuzzy values, allowing a system to work with uncertain or imprecise information within the framework of fuzzy logic. It involves several stages: first, the variables that will be used in the system are identified; then, membership functions are created for each variable, defining the degree to which a given value belongs to a specific category (e.g., "low," "medium," "high"). After this, crisp input values are converted into fuzzy values using these functions, resulting in a set of fuzzy outputs. These fuzzy values can then be utilized in fuzzy rules for decision-making or inference. Defuzzification is the process of converting fuzzy output values from a fuzzy inference system into crisp, actionable values. It is the reverse of fuzzification, which transforms crisp input values into fuzzy sets. After the system applies fuzzy rules to input values, it produces fuzzy outputs [1].

Empirical knowledge regarding the previously described patterns of changes in the frequency of messages on thematic internet resources and the ranking of their authors, depending on the significance of the discussed information, can be represented as a set of heuristic rules, shown in Table 1 [7].

Table 1. Heuristic Rules for Thematic Internet Resources Functioning.

1	If the message frequency on the forum is very high and the author ranking level is high, then the likelihood of an information security threat or vulnerability is very high.
2	If the message frequency on the forum is high and the author ranking level is high, then the likelihood of an information security threat or vulnerability is high.
…	
15	If the message frequency on the forum is very low and the author ranking level is low, then the likelihood of an information security threat or vulnerability is very low.

Based on the listed rules, it becomes possible to create a rule base for a fuzzy inference system. In this system, one of the input linguistic variables will be designated as β_1 – "message frequency," and the second one as β_2 – "author ranking level." The output linguistic variable will be β_3 – "probability of a security threat or vulnerability." Thus, a fuzzy inference system is created that takes these variables into account. In this case, the resulting fuzzy inference system contains 15 fuzzy production rules, as presented in Table 2 [7].

Table 2. Rules for fuzzy productions.

1	IF " $\beta_1$is VH" AND "β_2 is H" THEN "β_3 is VH"
2	IF "β_1 is H" AND "β_2 is H" THEN "β_3 is H"
…	
15	IF "β_1 is VL" AND "β_2 is L" THEN "β_3 is VL"

In this study, the dataset Hacker News Comments with High User Engagement was utilized. During the research, several challenges were encountered, including legal and ethical issues related to the use of sensitive information from hacker blogs and forums, as well as changes in content over time. These challenges prompted the decision to utilize an existing dataset, which allowed for a more focused and compliant analysis without the complications associated with directly sourcing data from dynamic online platforms. The analysis of the flow of textual messages was implemented through a neural-fuzzy logic approach, which incorporates various stages, including preprocessing of text data and the calculation of cosine similarity between messages and relevant terms within the cybersecurity domain.

Since the dataset may contain texts unrelated to cybersecurity, it is essential to filter the data, for which we will utilize an ontology. Currently, ontology is considered the most effective means for describing a specific domain [5]. The ontological approach involves representing the domain as an organized set of concepts, considering the existing relationships among them and

their properties. In general, the model of the flow of textual messages related to the domain defined by the ontology will be represented by the triplet [7]:

$$S_\tau = (M, O, T) \quad (1)$$

where S_τ is the flow of textual messages at the current time τ; M is the set of messages in the flow; O is the ontology of the domain; and T={1,…,τ} is the set of time periods during which observations of the message flow were conducted (hours, days, months, etc.). The ontology can be defined as:

$$O = (E, R, F) \quad (2)$$

where E is the set of terms in the domain; R is the set of relationships among the domain terms; and F is the set of interpretation functions (axiomatizations) defined on the terms and relationships of the ontology. To carry out semantic filtering of messages related to threats and vulnerabilities in information security, a thesaurus criterion can be applied to assess the degree of proximity of a message to the terms of the problem domain. The degree of proximity of the reference object in the ontology to the incoming message is calculated using the formula [7]:

$$k_t = max_{i=1}^{m} \left(\frac{n_i}{p_i}\right) \quad (3)$$

where m is the total number of ontology objects; n_i is the number of words in the lemma of the message that are present in the lemma of the i-th ontology object; and p_i is the number of words in the lemma of the i-th ontology object. In cases where the same value of the coefficient k_t is obtained for several different ontology objects, the object for which the value of n_i is maximized is considered the reference object. If there are multiple objects for which the values of k_t and n_i are the same, all of them are considered reference objects. Further analysis is conducted for each of them according to the ontological criterion. In the used ontology structure, each object possesses the property "is a Term." This property is determined by expert judgment, taking on a logical value type depending on how characteristic the object is for the subject area being considered. The main practical application of this property is found in solving term extraction tasks using the thesaurus criterion of terminologicality.

2. Neural-Fuzzy Model Implementation

The dataset contains comments from Hacker News stories with high user engagement levels, providing insight into the dynamics of highly engaged conversations and user behavior. It contains the following columns:

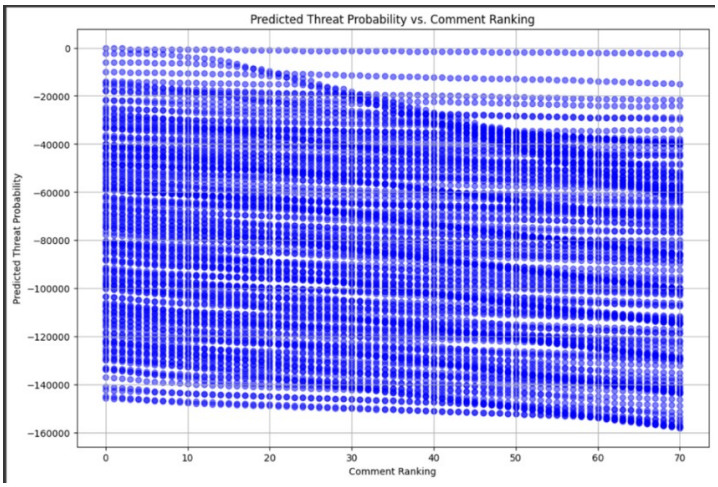
Table 3. Dataset columns

story_time:	The time the story was posted. (DateTime);
story_url:	The URL of the story. (String);
story_text:	The text of the story. (String);
story_author:	The author of the story. (String);
comment_text:	The text of the comment. (String);
comment_author:	The author of the comment. (String);
comment_ranking:	The ranking of the comment. (Integer)

author_comment_count:	The number of comments the author has made. (Integer);

The RMSE metric was chosen to evaluate the model [2]:

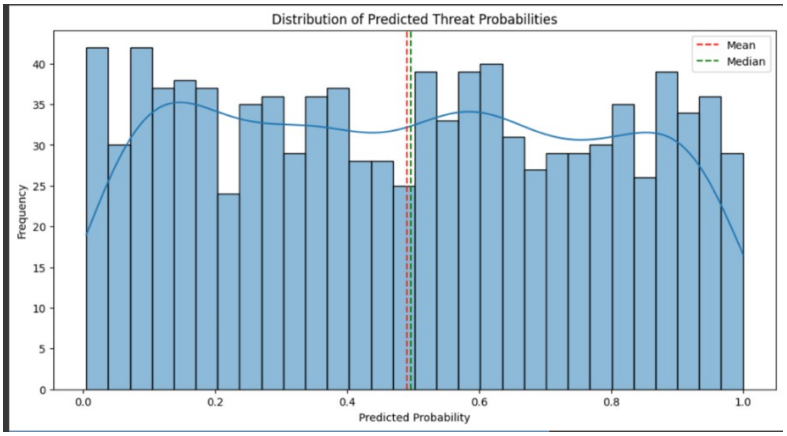
- Cross-validated RMSE (Root Mean Square Error): The cross-validated RMSE scores provide an assessment of the model's prediction error. The values [4.29806969, 10.76619533, 5.58068519, 6.58644253, 18.0715074] reflect the error in different validation sets, with an overall mean RMSE of 9.06. This is a measure of how well the predicted threat probabilities match the actual outcomes.



Pic. 3 Predicted Threat Probability vs. Comment Ranking

Observations:

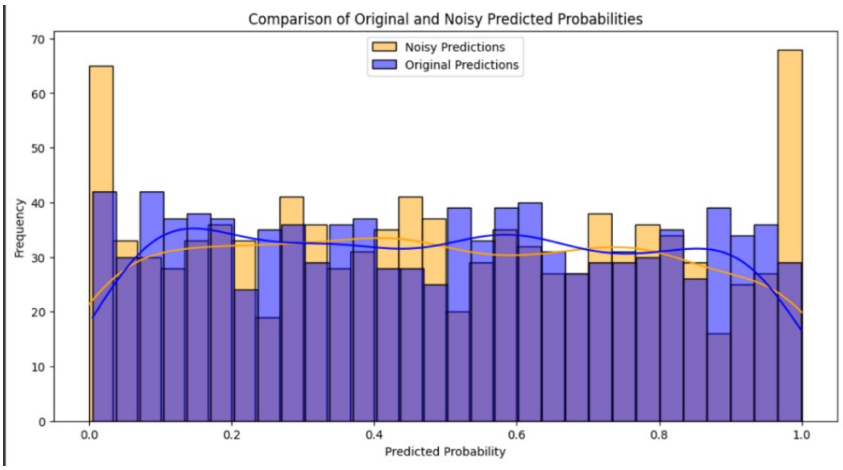
- Distribution Pattern: The graph shows a noticeable decline in predicted threat probability as the comment ranking increases. This suggests that comments from users with lower rankings tend to have higher predicted threat probabilities, while comments from users with higher rankings have lower probabilities.
- Dense Clusters: There appear to be dense clusters of dots across certain ranges of comment rankings and threat probabilities, which could indicate areas where the model consistently predicts certain threat levels based on the comments' rankings.
- Negative Predicted Threat Values: It’s important to note that the Y-axis contains negative values. In some models, negative predicted probabilities can occur due to normalization or specific transformations in the threat prediction model. However, this suggests that the probability output may have been centered or shifted for analysis.



Pic. 4 Distribution of Predicted Threat Probabilities

Observations:

- The distribution seems fairly spread out across the entire probability range, with no extreme skewness. There are peaks around probabilities of 0.1 and 0.9, indicating that the model predicts a significant number of instances with low and high threat probabilities.
- The middle range (around 0.5) has a lower frequency compared to the other regions, meaning fewer predictions fall around the midpoint of the probability scale.
- The fact that the mean and median are almost identical suggests that the predictions are balanced, with no extreme bias toward either very low or very high probabilities.



Pic. 5 Comparison of Original and Noisy Predicted Probabilities

Observations:

Differences between Original and Noisy Predictions:

- In some probability ranges (such as around 0 and 1), there are noticeable differences between the original and noisy predictions. For instance, there are far more noisy predictions near 0 and 1 compared to the original predictions, indicating that the noisy data exaggerates probabilities at the extremes.
- In the midrange (around 0.4 to 0.6), the original and noisy predictions are more similar, but the frequency of noisy predictions is still more evenly spread compared to the original ones, which are more clustered.

Peaks at 0 and 1:

- There are significant spikes in the noisy predictions at both 0 and 1, suggesting that noise might have pushed some of the predictions toward these extreme values. This implies that the noise added to the data increases uncertainty, leading to more confident predictions in some cases, either as definite low or high probabilities.

Statistical Information:

Correlation between Predictions and Features (-0.05):

- This indicates a very low correlation between the predicted probabilities and the features used in the model, suggesting that the predictions are only weakly influenced by the input features.

Coefficient of Variation (Original: 0.60, Noisy: 0.62):

- The coefficient of variation (CV) measures the spread or dispersion of the data relative to the mean. The CV values for both the original (0.60) and noisy (0.62) predictions are fairly similar, indicating that the level of dispersion in the data doesn't change much when noise is introduced.

KS Statistic (0.0480) and p-value (0.1996):

- The Kolmogorov-Smirnov (KS) statistic compares the distributions of the original and noisy predictions. A KS statistic of 0.0480 and a p-value of 0.1996 suggest that there is no

significant difference between the two distributions at conventional significance levels (typically 0.05 or lower). This means the noise doesn't significantly alter the overall distribution of the predicted probabilities.

Conclusion

The research discovered that neuro-fuzzy models offer significant potential in enhancing cybersecurity risk assessment by analyzing user activity on thematic internet resources. By identifying patterns in the frequency of posts, user rankings, and the content of discussions, these models can predict emerging security threats and vulnerabilities with a high degree of accuracy. The study demonstrated that neuro-fuzzy systems, which integrate the adaptive learning capabilities of neural networks with the reasoning power of fuzzy logic, are particularly effective in detecting anomalies, such as cyberattacks and unauthorized access, even when faced with incomplete or ambiguous data. Furthermore, the use of existing datasets, such as Hacker News comments, provided insights into the dynamics of online discussions and their correlation with potential cybersecurity risks. Despite some challenges, such as legal and ethical considerations when using sensitive information from hacker forums, the research confirmed that neuro-fuzzy models are a powerful tool for improving threat prediction and response in the field of cybersecurity.

References

[1] Abhishek R. Introduction to ANN (Artificial Neural Networks) – Set 3 (Hybrid Systems). – https://www.geeksforgeeks.org/introduction-ann-artificial-neural-networks-set-3-hybrid-systems/ (date of access: 29.09.2024).

[2] Nada A., Varun O., Ajith A. An Ensemble of Neuro-Fuzzy Model for Assessing Risk in Cloud Computing Environment – https://www.researchgate.net/publication/314697298_An_Ensemble_of_Neuro-Fuzzy_Model_for_Assessing_Risk_in_Cloud_Computing_Environment (date of access: 29.09.2024).

[3] Subach I., Fesokha V., Mykytiuk A., Kubrak V., Korotayev S. Simulation Model of a Fuzzy Cyber Attack Detection System. – https://ceur-ws.org/Vol-3241/paper9.pdf (date of access: 30.09.2024).

[4] Biswajit P., Olugbenga O., Priyanka M. Training of intelligent intrusion detection system using neuro fuzzy. – https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6888688 (date of access: 30.09.2024).

[5] Oltramari A., Cranor L. Building an Ontology of Cyber Security. – https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=35904549cad6196f7fedcb769e24f9eaf900ab35 (date of access: 30.09.2024).

[6] Vlamou E., Basil K. Papadopoulos. Fuzzy logic systems and medical applications. – https://www.researchgate.net/publication/341026597_Fuzzy_logic_systems_and_medical_applications (date of access: 30.09.2024).

[7] Poletayev V.S. Information-analytical system for forecasting information security threats and vulnerabilities based on analyzing data from thematic Internet resources. – https://e-library.ufa-rb.ru/dl/disser/avtoref_dis_Poletaev_V_S_Inform_analit_sist_progn_ugroz_i_uyazv_2020.pdf/en/info (date of access: 01.10.2024).

Samuilova Anastassiya Maratovna – Master of 2nd year Al-Farabi Kazakh National University Almaty; e-mail: stacya.samuilova@mail.ru

Nursapa Samal Tursynaliqyzy - Master of 2nd year Al-Farabi Kazakh National University Almaty; e-mail: samal200174@gmail.com

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ АТАК НА СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВХОДНЫХ ДАННЫХ И РЕАКЦИИ МОДЕЛИ

Гордиенко А.Н.[1,2], Конырханова А.А.[1], Тебуева Ф.Б.[2], Боранбай Ж.А.[1]
Факультет информационных НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Казахстан
Факультет математики и компьютерных наук имени профессора Н.И. Червякова ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Россия

Аннотация. *В статье предлагается метод обнаружения состязательных атак на системы искусственного интеллекта на основе анализа входных данных и реакции модели. Метод базируется на алгоритме глубокого обучения с подкреплением для обнаружения вторжений и оценке устойчивости систем искусственного интеллекта к атакам противника. Раскрывается влияние алгоритма глубокого обучения с подкреплением и архитектуры нейронной сети на точность обнаружения состязательных атак процент ложных срабатываний. Исследование охватывает влияние ключевых гиперпараметров, таких как глубина и ширина нейронных сетей, на способность интеллектуальных агентов противостоять состязательным атакам.*

Ключевые слова*: состязательные атаки, глубокое обучение с подкреплением (DRL), системы обнаружения вторжений, устойчивость к атакам, атаки черного ящика, состязательное обучение, кибербезопасность, обнаружение вторжений.*

Введение

С ростом сложности и частоты кибератак традиционные системы обнаружения вторжений (IDS) сталкиваются с трудностями в выявлении новых и изменяющихся угроз, таких как состязательные атаки. Методы машинного обучения, включая глубокое обучение с подкреплением (DRL), улучшают системы обнаружения вторжений, адаптируясь к новым угрозам. Однако зависимость DRL от уязвимых глубоких нейронных сетей приводит к восприимчивости к состязательным атакам, призванным уклониться от обнаружения внесения изменений во входные данные. Для определения влияния на обнаружение вторжений на основе DRL при глубоком обучении необходимо провести тщательный анализ уязвимости на основе DRL к состязательным атакам систематически оценивая ключевые гиперпараметры, такие как алгоритмы DRL, глубина и ширина нейронной сети, влияющие на надежность агентов. Обнаружение вредоносных действий в режиме реального времени имеет решающее значение для защиты компьютерных сетей, а системы обнаружения вторжений играют важную роль в быстром выявлении потенциальных угроз.

1. Постановка задачи

Обычно основываясь на сопоставление сигнатур для обнаружения вредоносной активности, системы обнаружения вторжений не могли обнаружить ранее неизвестные атаки. Интегрируя методы машинного обучения (МО), системы обнаружения вторжений могут улучшить свои возможности обнаружения, выявляя аномалии, а не полагаясь на предопределенные правила [1]. В области обнаружения вторжений Reinforcement Learning (RL) выступает в качестве перспективного подхода, эта ветвь ML позволяет агенту обучаться принятию решений посредством итеративного взаимодействия с его средой. Он продемонстрировал эффективность в различных областях, включая робототехнику и автономное вождение [2, 3]. Следовательно, применение RL для обнаружения вторжений вызвало значительный интерес в научном сообществе [4]. Легкость, адаптивность и отзывчивость агентов RL делают их особенно подходящими возможность развертывания в

реальном времени в критически важной инфраструктуре. Кроме того, алгоритмы RL включают модели глубоких нейронных сетей (DNN) в сложных и многомерных доменах, что позволяет лучше представлять признаки [5]. Примеры злоумышленников особенно тревожны в критических областях, таких как обнаружение вторжений, поскольку они позволяют злоумышленникам обходить обнаружение, слегка изменяя свои пакеты. В этом сценарии вредоносный пакет будет казаться безобидным для агента обнаружения вторжений, при этом по-прежнему служа гнусной цели. Поэтому применение методов DRL для обнаружения вторжений требует тщательного исследования связанных уязвимостей для прогнозирования рисков и обеспечения надежности систем обнаружения вторжений. В то время как предыдущие исследования изучали влияние вредоносных атак на обнаружение вторжений на основе машинного обучения [6, 7], остается пробел в понимании их конкретного влияния на алгоритмы DRL для обнаружения вторжений. Отсутствие понимания ограничивает безопасное использование методов DRL для обнаружения вторжений. В этой статье рассматривается этот вопрос путем анализа устойчивости систем обнаружения вторжений на основе DRL к враждебным примерам.

При анализе будем рассматривать градиентные состязательные атаки: одношаговый метод, называемый методом быстрого градиентного знака (FGSM) [8] и итеративный метод, называемый Базовым итерационным методом (BIM) [9]. Рассматриваемые атаки используют принцип воздействия на систему с возрастающим возмущением в настройках как белого, так и черного ящика.

Под вторжением понимается любая несанкционированная деятельность, которая ставит под угрозу безопасность компьютерной системы, создавая угрозу конфиденциальности, целостности или доступности. Платформы Network Intrusion Detection System (NIDS) являются важнейшими программными системами, предназначенными для обнаружения и сообщения о таких вредоносных действиях [10] в сети, что позволяет выявлять различные типы атак, которые не сдерживаются межсетевыми экранами.

IDS можно разделить на системы обнаружения вторжений на основе сигнатур (SIDS) и системы обнаружения вторжений на основе аномалий (AIDS). SIDS полагаются на базу данных известных сигнатур атак, в то время как AIDS анализируют поведение системы для выявления нетипичных данных, связанных с вторжениями. Однако SIDS ограничены в обнаружении новых и неизвестных атак и требуют дорогостоящей экспертизы в домене. Рост числа состязательных атак и растущая сложность компьютерных сетей делают современные средства защиты необходимыми для обеспечения компьютерной безопасности и защиты от новых векторов атак.

Методы МО стали мощным инструментом обнаружения аномальных вторжений, предлагая новые возможности для повышения эффективности систем безопасности, использующих машинное обучение, организованное на основе данных для принятия решений. Анализируя данные сетевого трафика, алгоритмы МО могут выявлять закономерности и аномалии, связанные с вредоносной деятельностью. Ранние подходы к обнаружению вторжений были сосредоточены на методах извлечения признаков, таких как байесовские сети и деревья регрессии [11, 12]. Более того, неконтролируемые алгоритмы показали себя многообещающими, поскольку не требуют маркированных данных, хотя их производительность, как правило, уступает контролируемым моделям [13]. В последние годы появление нейронных сетей принесло значительные достижения в этой области. Модели глубокого обучения, включая модели глубокой классификации, позволили улучшить возможности обобщения для обнаружения вторжений в сложных сетевых средах и реальных сценариях атак [14]. Популярность DNN в обнаружении вторжений еще больше возросла с появлением таких вариантов, как рекуррентные нейронные сети (RNN) [15] и сверточные нейронные сети (CNN) [16]. Однако важно отметить, что обучение этих

моделей может быть сложным из-за несбалансированности доступных наборов данных, которые часто демонстрируют нехватку образцов для редких случаев атак, и могут привести к длительному и дорогостоящему процессу обучения [17]. Чтобы преодолеть эти ограничения, исследователи активно изучают новые подходы, и одним из особенно многообещающих направлений являются методы обнаружения сетевых вторжений на основе RL

Для системы обнаружения вторжений на основе глубокого обучения с подкреплением DRL важным аспектом является ее устойчивость к состязательным атакам. В противном случае злоумышленник может использовать подобного рода атаки и обмануть систему, заставив ее классифицировать вредоносные данные как безобидные. Для создания состязательных атак используется метод Fast Gradient Sign Method (FGSM). Суть метода заключается в создании небольшие изменений в данных, которые воздействуют на модель, используя градиент ошибки модели, чтобы направить изменения в сторону ухудшения результатов классификации. Формула для создания состязательных атак с помощью FGSM выглядит следующим образом:

$$x' = x + \epsilon \cdot sign(\nabla_x J(\theta, x, y))x', \quad (1)$$

где:

x – исходные данные (например, сетевой пакет);

ϵ – величина возмущения;

$\nabla_x J$ – градиент функции потерь JJJ по входным данным xxx;

θ – параметры модели;

y – истинная метка класса.

Таким образом, создаются новые данные x', которые лишь немного отличаются от оригинала, но могут привести к неправильной классификации системой обнаружения вторжений. Для фальсификации и изменения данных также используют Basic Iterative Method (BIM), сущность метода заключается в итеративном улучшении FGSM, когда малые возмущения добавляются пошагово для более точного воздействия на модель. В результате получается более сильное воздействие на систему, что еще больше увеличивает вероятность неправильной классификации.

Традиционные системы обнаружения вторжений, полагающиеся на сопоставление сигнатур, не справляются с неизвестными или изменяющимися киберугрозами. Методы машинного обучения и, в частности, глубокое обучение с подкреплением представляют перспективный подход для адаптивного обнаружения вторжений на системы ИИ. Однако и они уязвимы перед состязательными атаками, которые могут скрыть вредоносные действия с помощью минимальных изменений данных, что делает задачу повышения устойчивости таких систем критически важной.

Особенно значимым является использование скачкообразных атак (FGSM и BIM), которые эффективно скрывают угрозы путем малозаметных изменений данных, такие атаки могут быть как в условиях «белого ящика» (полный доступ к модели), так и в условиях «черного ящика» (без доступа к внутренней структуре модели). Проведенные эксперименты продемонстрировали, что даже небольшие возмущения во входных данных способны обмануть системы DRL.

Переносимость атак между различными алгоритмами DRL была подтверждена, что указывает на необходимость разработки системной защиты для агентов DRL в сетях с критически важной инфраструктурой. В качестве защиты от состязательных атак предложен метод модификации процесса обучения DRL, включающий состязательное обучение (adversarial training). Основная идея заключается в обучении агентов на примерах с враждебными изменениями, что позволяет системе «учиться» на таких примерах и адаптировать свою архитектуру для повышения устойчивости к скачкообразным атакам.

2. Алгоритм решения задачи

Системы обнаружения вторжений (NIDS) предназначены для мониторинга сетевого трафика и выявления потенциальных угроз путем анализа сетевых пакетов. Системы полагаются на набор данных, включающий метки для сетевого трафика (например, «вредоносный» или «безопасный»), что позволяет им обучаться и определять атаки в будущем. NSL-KDD: Этот набор данных является переработанной версией KDD Cup 1999 и используется для обучения и оценки NIDS. NSL-KDD исправляет недостатки оригинального набора, такие как избыточные записи и несбалансированные классы атак, этот набор данных включает несколько типов атак, таких как атаки отказа в обслуживании (DoS) и проникновение в систему (R2L). Он считается стандартом для оценки производительности систем обнаружения атак в реальных условиях NSW-NB15: Современный и более комплексный набор данных по сравнению с NSL-KDD. Он был создан на симуляционной платформе и включает 49 различных характеристик сетевого трафика, что делает его более реалистичным для моделирования атак в современных сетях, а также содержит такие типы атак, как Fuzzers, Backdoors, DoS, и Worms, что позволяет проводить более детализированный анализ.

Основные методы обнаружения атак включают алгоритмы машинного обучения, способные классифицировать трафик на «безопасный» и «вредоносный». Используются как традиционные методы, так и глубокие нейронные сети для улучшения точности и устойчивости систем к атакам:

- DQN (Deep Q-Networks) – алгоритм объединяет Q-обучение с глубокими нейронными сетями для решения задач с высокоразмерными пространствами состояний. Он включает опытное повторение для повышения эффективности выборки и стабилизации процесса обучения.
- QRDQN (Quantile Regressietworks) – расширяет DQN, добавляя квантильную регрессию, позволяя моделировать всю распределение возвратов, значительно повышая точность оценки рисков и неопределенности, что полезно для систем, где принятие решений осуществляется с учетом неопределенности.

В контексте состязательного обучения методы повышения безопасности заключаются в устойчивости к атакующим воздействиям. Использование BIM для многократного применения малых возмущений способствует созданию более сложных состязательных атак, что повышает общую надежность системы. Исходя из этого в качестве метода-аналога можно использовать Trust Region Policy Optimization (TRPO), который обеспечивает стабильность обучения системы за счет ограниченных изменений входных данных. TRPO в отличие от других алгоритмов ограничивает изменения в поступающих данных внутри доверенной области, предотвращая слишком резкие изменения, которые могли бы привести к нестабильности в обучении и оптимизирует политику с использованием Марковского процесса принятия решений (Markov Decision Process, MDP). Компоненты марковского процесса принятия решений лежат в основе работы системы глубокого обучения с подкреплениями, они нужны для того, чтобы описать, как агент обучается и принимает решения в процессе выполнения задачи:

1. Состояние S_t – текущее состояние системы (например, набор характеристик сетевого трафика).

2. Действие A_t – действие, которое агент должен предпринять (например, классификация трафика как «вредоносный» или «доброкачественный»).

3. Вознаграждение R_t – положительное или отрицательное вознаграждение в зависимости от правильности классификации трафика.

За счет этих компонентов происходит обучение агента, которые помогают ему максимизировать прибыль в долгосрочный период. Агент постепенно учится принимать оптимальные решения (действия) в каждом состоянии на основе вознаграждений, которые

он получает за свои действия. Данные факторы ложатся в основу работы TRPO поскольку этот метод оптимизации политики направлен на улучшение процесса принятия решений агентом. Цель TRPO заключается в том, чтобы найти параметры политики θ, которые максимизируют ожидаемую награду. Рассмотрим ключевое уравнение:

$$\pi\theta_{new} = arg\, E_{s\ \rho_{\pi\theta_{old}}}\left[A_{\pi\theta_{old}}(s,a)\right], \qquad (2)$$

где:

- $\pi\theta_{new}$ – новая политика;
- $\pi\theta_{old}$ – старая политика;
- $A_{\pi\theta_{old}}$ – функция преимущества для старой политики.

TRPO стабилизирует обучение, за счёт ограничения разницы между старой и новой политикой, обеспечивая плавные изменения параметров модели. Повышении устойчивости DRL-агентов к таким атакам через использование метода состязательного обучения, засечёт использование более гибких алгоритмов, а именно вместо TRPO, предлагаются алгоритмы Advantage Actor-Critic (A2C) и Proximal Policy Optimization (PPO), которые более эффективно минимизируют резкие изменения в политике и улучшают устойчивость к атакам. Включение состязательных атак в процесс обучения, что позволяет системе «учиться» на примерах атак и адаптировать свою архитектуру для лучшей защиты. Агенты, обученные с использованием состязательного обучения, показали лучшую способность противостоять атакам, в том числе на датасетах NSL-KDD и UNSW-NB15. DRL-агенты, использующие улучшенные алгоритмы, продемонстрировали снижение показателя False Negative Rate, что означает улучшение способности обнаруживать атаки, и снижение числа ложноположительных срабатываний. Улучшение, основанно на алгоритмах глубокого обучения с подкреплением (DRL), таких как Advantage Actor-Critic (A2C) и Proximal Policy Optimization (PPO). Данные методы были адаптированы для повышения устойчивости системы к состязательным атакам. Основное изменение по сравнению с TRPO заключается в том, что A2C и PPO обеспечивают более гибкие методы оптимизации политики за счет использования механизмов, минимизирующих изменения политики без необходимости жесткого ограничения, как это делает TRPO. Эксперименты были проведены с использованием библиотеки Stable Baselines3 для реализации DRL-агентов и фреймворка PyTorch для глубокого обучения. Состязательные атаки (такие как FGSM и BIM) реализованы с помощью Adversarial Robustness Toolbox (ART). Для выполнения вычислений использовались высокопроизводительные вычислительные платформы. Использовались три различных датасета сетевого трафика для обучения и тестирования агентов:

−NSL-KDD – стандартный датасет для обнаружения сетевых атак.

−UNSW-NB15 – более сложный и современный набор данных, содержащий различные типы атак.

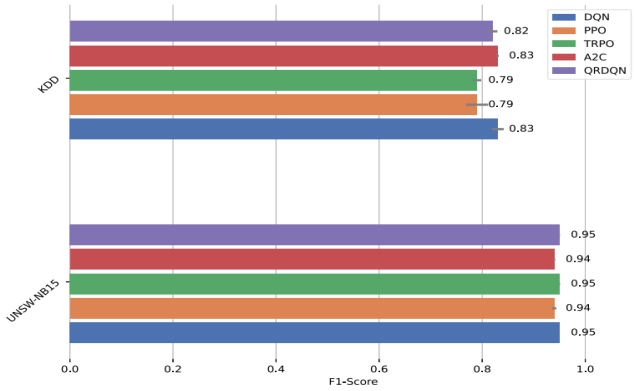
3. Численные вычисления

Для каждой конфигурации DRL-агентов было проведено 70 экспериментов. В каждом эксперименте агент обучался на тренировочном наборе данных, тестировался на исходных данных, а затем проверялся на устойчивость к состязательным атакам, созданным с использованием FGSM и BIM. В процессе экспериментов отслеживались такие метрики, как False Negative Rate (FNR), False Positive Rate (FPR) и F1-score.

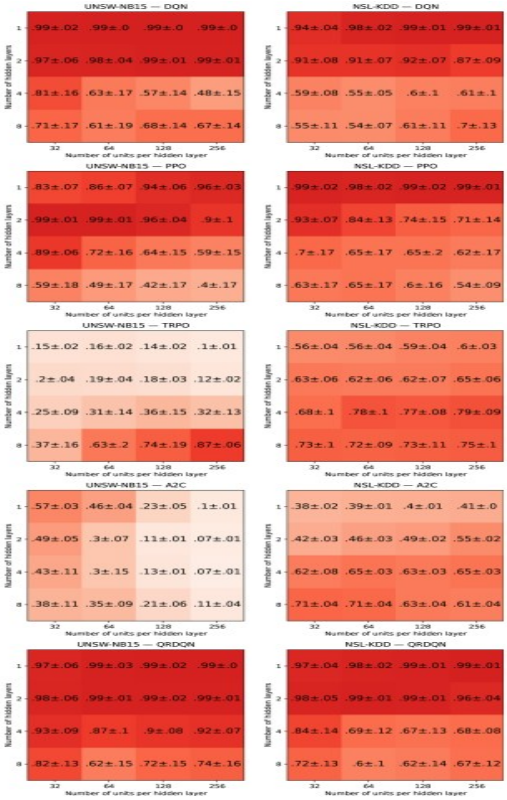
На рисунке 1 представлена гистограмма среднего значения F1-score для различных алгоритмов DRL на тренировочных данных, где PPO показал небольшую нестабильность на больших архитектурах нейронных сетей.

На рисунке 2 показаны матрицы FNR для FGSM и BIM атак, демонстрируя, что алгоритмы, такие как A2C, показали лучшую устойчивость к атакам по сравнению с PPO. Таким образом, предложенный метод на основе A2C и PPO демонстрирует лучшие результаты по сравнению с TRPO за счет большей гибкости и устойчивости к атакующим воздействиям, что делает его более подходящим для применения в системах обнаружения вторжений.

В условиях роста сложности и частоты кибератак обеспечение устойчивости систем обнаружения вторжений к состязательным атакам становится одной из приоритетных задач в области информационной безопасности. Методы глубокого обучения с подкреплением (DRL) предоставляют мощные возможности для адаптивного выявления угроз, но их уязвимость к состязательным примерам создает значительные риски для надежности таких систем.



1-рисунок. Гистограмма среднего значения F1-score для различных алгоритмов DRL на тренировочных данных



2-рисунок. Матрицы False Negative Rate (FNR) для атак FGSM и BIM ($\epsilon = 0,1$)

Заключение

Архитектура нейронных сетей и гиперпараметры, такие как глубина и ширина сетей, существенно влияют на способность агентов DRL противостоять атакующим воздействиям. Для решения этой проблемы предложен метод состязательного обучения, который улучшает способность DRL-агентов эффективно обрабатывать измененные данные и выявлять новые векторы угроз.

Благодарность. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК в рамках программно-целевого финансирования BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровни жизни горожан».

Список литературы

1. Debar, H., Becker, M., Siboni, D.: A neural network component for an intrusion detection system. In: Proceedings 1992 IEEE Computer Society Symposium on Research in Security and Privacy (1992)
2. Kiran, B.R., Sobh, I., Talpaert, V., Mannion, P., Sallab, A.A.A., Yogamani, S., Pérez, P.: Deep Reinforcement Learning for Autonomous Driving: A Survey (2021). http://arxiv.org/abs/2002.00444
3. Levine, S., Finn, C., Darrell, T., Abbeel, P.: End-to-End Training of Deep Visuomotor Policies (2016). http://arxiv.org/abs/1504.00702
4. Pasikhani, A.M., Clark, J.A., Gope, P.: Adversarial RL-based IDS for evolving data environment in 6LoWPAN. IEEE Trans. Inf. Forens. Security 17. – С. 3831–3846
5. Sutton, R.S.: Learning to predict by the methods of temporal differences. Mach. Learn. 3. – С. 9-44.
6. Merzouk, M.A., Cuppens, F., Boulahia-Cuppens, N., Yaich, R.: A Deeper analysis of adversarial examples in intrusion detection. In: 15th International Conference on Risks and Security of Internet and Systems (2021)
7. Wang, Z.: Deep learning-based intrusion detection with adversaries. IEEE Access 6, 38367–38384 (2018)
8. Goodfellow, I.J., Shlens, J., Szegedy, C.: Explaining and harnessing adversarial examples. In: 3rd International Conference on Learning Representations (2015)
9. Kurakin, A., Goodfellow, I.J., Bengio, S.: Adversarial examples in the physical world. In: 5th International Conference on Learning Representations (2017)
10. Liao, H.J., Richard Lin, C.H., Lin, Y.C., Tung, K.Y.: Intrusion detection system: a comprehensive review. J. Netw. Comput. Appl. 36(1). – С. 16-24.
11. Bajaj, K., Arora, A.: Improving the intrusion detection using discriminative machine learning approach and improve the time complexity by data mining feature selection methods. Int. J. Comput. Appl. 76(1). – С. 5-11.
12. Chebrolu, S., Abraham, A., Thomas, J.P.: Feature deduction and ensemble design of intrusion detection systems. Computers & Security (2005)
13. Annachhatre, C., Austin, T.H., Stamp, M.: Hidden Markov models for malware classification. J. Comput. Virol. Hack. Tech. 11. – С. 59-73.
14. Buczak, A.L., Guven, E.: A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. IEEE Commun. Surv. Tutor. 18(2). – С. 1153-1176.
15. Sutskever, I., Vinyals, O., Le, Q.V.: Sequence to sequence learningwith neural networks. In: Advances in Neural Information Processing Systems. Curran Associates, Inc. (2014)
16. Krizhevsky, A., Sutskever, I., Hinton, G.E.: Imagenet classification with deep convolutional neural networks. In: Advances in Neural Information Processing Systems. Curran Associates, Inc. (2012)

17. Khraisat, A., Gondal, I., Vamplew, P., Kamruzzaman, J.: Survey of intrusion detection systems: techniques, datasets and challenges. Cybersecurity 2(1) – С. 1-22.

Гордиенко А.Н. – студент Факультета информационных НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Казахстан; студентФакультет математики и компьютерных наук имени профессора Н.И. Червякова ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Россия; mail: ann.nik.gordienko@mail.ru

Конырханова А.А. – кандидат физико-математических наук, PhD, и.о. заведующего кафедрой «Информационной безопасности» Факультета информационных НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Казахстан; e-mail: konyrkhanova_aa@enu.kz

Тебуева Ф.Б. – доктор физико-математических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики факультета математики и компьютерных наук имени профессора Н.И. Червякова, профессор базовой кафедры «инфоком-с» факультета математики и компьютерных наук имени профессора Н.И. Червякова ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Россия; e-mail: fariza.teb@gmail.com

Боранбай Ж.А. – студент Факультета информационных НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Казахстан; e-mail: boranbay_zha3@enu.kz

СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ

Д.Р. Ашимжанова[1], Г.З. Зиятбекова[1,2], Н.М. Серикбаев[1]
[1] әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий, Алматы, казахстан

Аннотация. *В данной работе рассматривается процесс развертывания и настройки стека-технологий ELK (Elasticsearch, Logstash, Kibana) для сбора, хранения, анализа и визуализации логов. Основной целью работы является создание эффективной системы мониторинга, которая позволяет в реальном времени отслеживать и анализировать логи приложений и инфраструктуры, улучшая их производительность и надежность. Практическая часть работы демонстрирует процесс установки и конфигурации сбора логов в реальной инфраструктуре, а также тестирование его производительности на реальных данных. Работа доказывает эффективность использования Logstash для анализа логов в средах с большими объемами данных и подчеркивает важность этой системы в построении современной ИТ-инфраструктуры.*

Ключевые слова*: ELK Stack, Elasticsearch, Logstash, Kibana, мониторинг, анализ логов, визуализация данных, инфраструктура.*

Введение

Основная цель разработки системы обнаружения уязвимостей информационной безопасности в корпоративной среде заключается в улучшении процесса мониторинга и выявления уязвимостей, ускорении реагирования на инциденты и повышении эффективности работы команды по информационной безопасности. Для достижения этой цели используется набор программных инструментов, включающий три основных компонента: Elasticsearch, Logstash и Kibana. Elasticsearch представляет собой распределенный поисковый и аналитический движок, способный обрабатывать большие объемы данных в реальном времени. Logstash служит для сбора, обработки и передачи данных в Elasticsearch. Kibana предоставляет интерфейс для визуализации и анализа данных, хранящихся в Elasticsearch.

1. Постановление задачи

Система обнаружения уязвимостей информационной безопасности в корпоративной среде, использующая ELK, основана на мониторинге и анализе лог-файлов сетевых устройств, приложений, операционных систем и других источников данных. ELK обеспечивает возможность сбора, агрегации и анализа логов с различных источников, а также быстрого поиска и фильтрации данных. Эта система позволяет быстро обнаруживать уязвимости и атаки, а также реагировать на них в реальном времени, например, обнаруживать попытки несанкционированного доступа или сетевые атаки. Использование данной системы также обеспечивает эффективный анализ данных на предмет уязвимостей, определение распространения угроз и разработку стратегий обеспечения безопасности сети. Другим преимуществом является возможность интеграции с другими инструментами безопасности, такими как системы мониторинга угроз, системы предотвращения вторжений и системы управления уязвимостями, что обеспечивает комплексный подход к обеспечению безопасности информационных систем и своевременное реагирование на угрозы.

В целом, использование системы обнаружения уязвимостей информационной безопасности может быть эффективным инструментом для защиты корпоративных сетей и данных, при условии тщательной подготовки и соблюдения правил безопасности.
Для создания инструмента для выявления уязвимостей в информационной безопасности в корпоративной среде с использованием ELK Stack (Elasticsearch, Logstash, Kibana) и ELK Cloud, необходимо построить решение, которое автоматизирует сбор и анализ логов для выявления возможных уязвимостей и инцидентов (рис.1).

На уровне источников данных система собирает логи с различных компонентов корпоративной инфраструктуры, включая сетевые устройства, серверы и приложения. Эти логи содержат ключевую информацию о попытках несанкционированного доступа, сбоях в системах, аномальной активности и других событиях, которые могут сигнализировать о потенциальных угрозах безопасности.

Logstash выполняет роль основного компонента для сбора данных. Он подключается к разным источникам и принимает данные в виде логов, которые затем проходят этап фильтрации и обработки. Например, с помощью фильтров данные нормализуются для удобства дальнейшего анализа, а плагин GeoIP позволяет обогащать логи дополнительной информацией, такой как географическое местоположение по IP-адресу. Это важно для выявления подозрительной активности, например, если определенные IP-адреса ассоциируются с известными угрозами.

После обработки Logstash передает данные в Elasticsearch, который служит высокопроизводительной базой данных для хранения и индексации логов. Elasticsearch обеспечивает быстрый поиск и анализ больших объемов данных, что критически важно для обнаружения инцидентов в реальном времени и ретроспективного анализа угроз.

Kibana используется для визуализации и взаимодействия с данными. Через Kibana пользователи могут строить дашборды, которые показывают текущую ситуацию в системе безопасности, визуализируют аномалии, такие как всплески активности на нестандартных портах или попытки многократного входа в систему с одного IP-адреса. Также Kibana позволяет создавать оповещения, которые уведомляют администраторов о выявленных инцидентах в реальном времени.

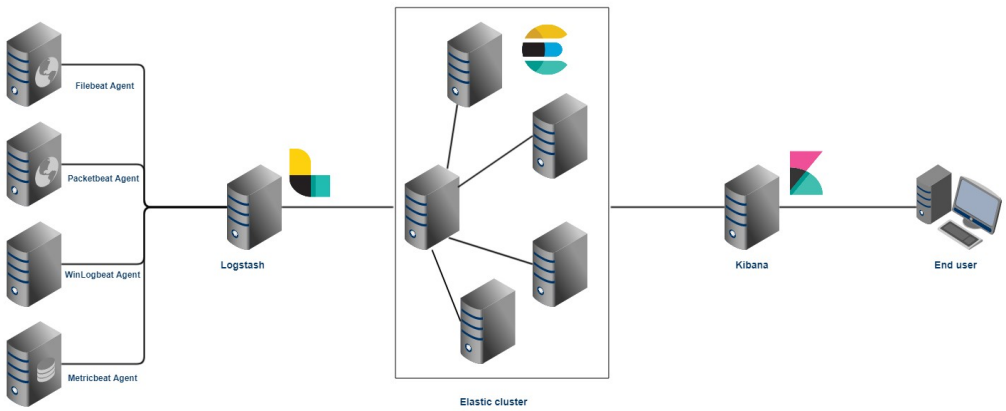


Рисунок-1. Архитектура ELK

2. Шаги разработки:

1. Сбор логов с корпоративных систем через Logstash:
- Настройка Logstash для сбора данных с различных источников: сетевые устройства, серверы, приложения, базы данных и т.д.
- Использование фильтров Logstash для очистки и нормализации данных, таких как логи доступа, логи безопасности (например, из систем IDS/IPS), системные логи и т.д.

2. Обогащение данных о безопасности:
- В процессе обработки логов в Logstash добавлять дополнительные данные о безопасности, например:
- Идентификация подозрительных IP-адресов (например, из публичных списков угроз).
- Добавление информации о портах, протоколах, страновых данных и т.д.

3. Отправка данных в Elasticsearch:
- Передача с помощью Logstash очищенных и обогащенных данных в Elasticsearch для дальнейшего индексирования и хранения. Elasticsearch предоставляет мощные возможности поиска и анализа данных.

4. Настройка поиска уязвимостей и аномалий:
- Использование Kibana для создания дашбордов и визуализаций на основе логов, которые помогут обнаруживать аномалии и потенциальные уязвимости.
- Настройка запросов для выявления инцидентов безопасности, таких как:
- Подозрительная сетевая активность (необычные порты, большое количество попыток входа и т.д.).
- Логи атак типа DDoS, сканирования портов или попытки эксплуатации уязвимостей.
- Неудачные попытки входа в системы и другие отклонения.

5. Оповещения (Alerting):
- Настройка механизмов оповещения в Kibana. В случае обнаружения аномалий или подозрительных действий, система должна отправлять уведомления через различные каналы (почта, Slack и т.д.).

6. Отчеты и визуализация:
- Создание дашбордов для отслеживания состояния системы безопасности в реальном времени.
- Визуализация:
- Географические распределения подозрительных IP-адресов.
- Графики по времени для выявления резких изменений в активности.
- Общее количество инцидентов безопасности.

3. Сбор логов с корпоративных систем через Logstash

На данном этапе осуществляется настройка Logstash для сбора логов с различных источников (серверы, сетевые устройства, приложения). Основная цель — централизовать логи для дальнейшего анализа и обогащения данных о безопасности.

Как следует из описания, logstash можно запускать как для одного канала, в этом случае, ему нужно передать файл *.conf или для нескольких каналов, в этом случае ему надо передать файл pipelines.yml, который, в свою очередь, будет ссылаться на файлы .conf для каждого канала. Первые шаги включают в себя создание pipelines.yml, и директории pipelines, в которую будут передаваться .conf(конфигурационные) файлы для каждого канала.(рис.2) Внутри контейнера присутствует ещё один конфигурационный файл — logstash.yml(используется с настройками по умолчанию).

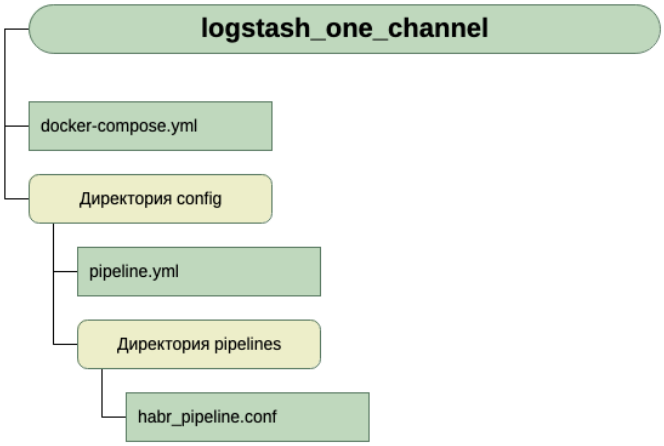


Рисунок-2. Структура каталогов

Содержание docker-compose.yml:

```
version: '3'
networks:
  elk:
volumes:
  elasticsearch:
    driver: local
services:
  logstash:
    container_name: logstash_one_channel
    image: docker.elastic.co/logstash/logstash:6.3.2
    networks:
        - elk
    ports:
        - 5046:5046
    volumes:
-./config/pipelines.yml:/usr/share/logstash/config/pipelines.yml:ro
     - ./config/pipelines:/usr/share/logstash/config/pipelines:ro
```

Описание конфигурационного файла:

1. Networks и volumes взяты из исходного docker-compose.yml (тот где целиком запускается стек)
2. Создается один сервис (services) logstash, из образа docker.elastic.co/logstash/logstash:6.3.2 и присваивается имя logstash_one_channel.
3. Внутрь контейнера пробрасывается порт 5046, на такой же внутренний порт.
4. Файл настройки каналов ./config/pipelines.yml отображается на файл /usr/share/logstash/config/pipelines.yml внутри контейнера, откуда его подхватит logstash с доступом read-only.
5. Директория ./config/pipelines, где у нас лежат файлы с настройками каналов, в директория /usr/share/logstash/config/pipelines также присваивает доступа её read-only.

Файлы конфигурации Logstash находятся в каталоге /etc/logstash/conf.d. Во время настройки конфигурации в файле полезно рассматривать Logstash как конвейер, принимающий данные на одном конце, обрабатывающий и отправляющий их в пункт назначения (в нашем случае пунктом назначения является Elasticsearch). Конвейер Logstash имеет два обязательных элемента, input и output, а также необязательный элемент filter. Плагины ввода потребляют данные источника, плагины фильтра обрабатывают данные, а плагины вывода записывают данные в пункт назначения. (рис.3)

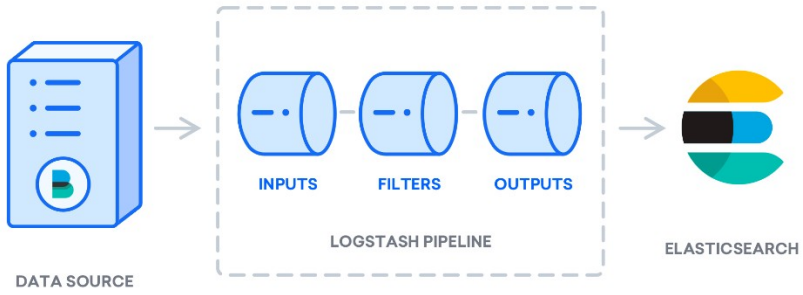


Рисунок-3. Конвейер Logstash

Elasticsearch - это распределенная, RESTful и аналитическая поисковая система, способная решать широкий спектр задач. Многие компании (Netflix, Tinder, Cisco Talos) переходят или уже прешли на него и интегрируют его в свою текущую бэкэнд-инфраструктуру - он позволяет анализировать ваши данные с помощью агрегации и найти смысл в миллиардах журнальных строк.

Logstash динамически преобразует и подготавливает данные независимо от формата, определяя именованные поля для построения структуры и преобразуя их для приведения к общему формату. (рис.4) Также присутсвует возможность испоользования функции мониторинга X-Pack, для получение глубокого представления о показателях развертывания Logstash.

На обзорной приборной панели можно увидеть все события, полученные и отправленные Logstash, а также информацию об использовании памяти и времени работ, затем детализировать данные, чтобы просмотреть статистику по конкретному узлу.

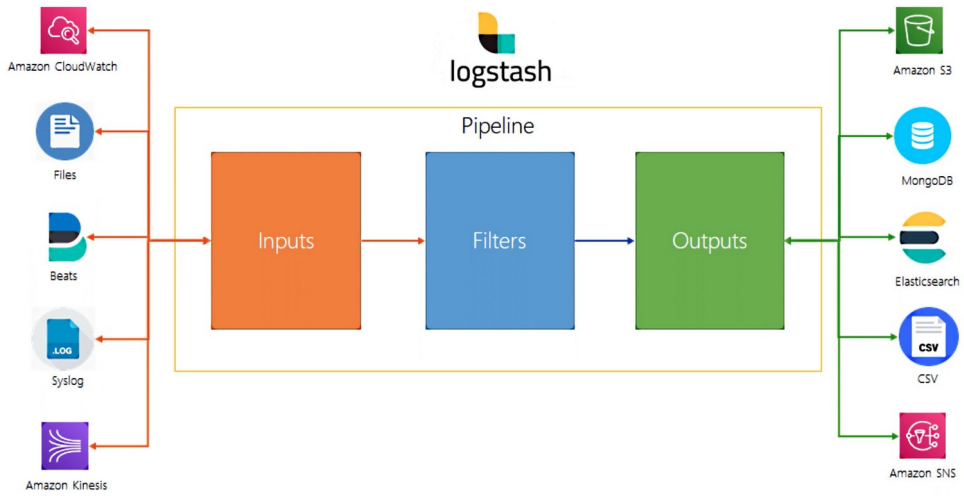


Рисунок-4. Архитектура получения данных

4. Заключение

В этом модуле описана установка и настройка промежуточного этапа Elastic Stack для сбора и анализа данных системных журналов. С помощью данного инструмента - Logstash отправляются и получаются практически любые типы данных журнала и индексированных данных, однако данные будут более полезны, если они будут проанализированы и структурированы с помощью фильтра Logstash, который преобразует данные в единый формат, легко читаемый Elasticsearch.

Список литературы

1. Stoleriu R., Puncioiu A., Bica I. Cyber attacks detection using open source ELK stack //2021 13th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI). – IEEE, 2021. – С. 1-6.
2. Ngo T. T. T. et al. An Analytical Tool for Georeferenced Sensor Data based on ELK Stack //GISTAM. – 2021. – С. 82-89.
3. Sholihah W., Pripambudi S., Mardiyono A. Log event management server menggunakan elastic search logstash kibana (elk stack) //JTIM: Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia. – 2020. – Т. 2. – №. 1. – С. 12-20.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА УЯЗВИМОСТЬ К АТАКАМ

Белоносов А. О.
Казахский Национальный Университет Имени Аль-Фараби, Казахстан

Аннотация

Исследование применения нейронных сетей для автоматизации тестирования на проникновение в сфере информационной безопасности с акцентом на необходимость использования передовых методологий для выявления уязвимостей информационных систем. Основной вопрос исследования следует сфокусировать на аспекте того, как нейронные сети могут повысить эффективность процессов тестирования на проникновение, традиционно основанных на ручных методах. В нем освещаются проблемы традиционного тестирования на проникновение, включая сложность современных угроз и ограничения ручного тестирования по сравнению с автоматизированным. Путем оценки различных архитектур нейронных сетей — сверточных нейронных сетей (CNN), рекуррентных нейронных сетей (RNN) и генеративных состязательных сетей (GAN) — стоит отметь их роль в автоматизации различных аспектов тестирования на проникновение, таких как распознавание образов, обнаружение аномалий и идентификация вредоносных программ нулевого дня. Стоит выделить, что гибридный подход, объединяющий сильные стороны как ручных, так и автоматизированных методов, основанных на нейронных сетях, необходим для достижения комплексной защиты кибербезопасности от современных угроз. Эта интегрированная платформа направлена на повышение устойчивости и адаптивности в практике тестирования на проникновение, тем самым улучшая общее состояние безопасности организаций.

Ключевые слова: *нейронные сети, тестирование на проникновение, информационная безопасность, автоматизация, сверточные нейронные сети, Рекуррентные нейронные сети, генеративные состязательные сети.*

В современную цифровую эпоху безопасность информационных систем является первостепенной заботой организаций по всему миру. Поскольку киберугрозы продолжают усложняться, традиционные методы оценки уязвимостей, в частности тестирование на проникновение, сталкиваются со значительными проблемами. Тестирование на проникновение имитирует реальные атаки для выявления потенциальных слабых мест в системах, помогая организациям выявлять уязвимости до того, как злоумышленники смогут их использовать. Однако эта методология часто в значительной степени зависит от опыта человека и ручного вмешательства, что приводит к неэффективности и более высокой вероятности упущенных уязвимостей в быстро меняющихся условиях.

Цель – подчеркнуть необходимость внедрения передовых технологий в сфере тестирования на проникновение. Сочетая устоявшиеся методологии с инновационными нейросетевыми подходами, организации могут повысить эффективность своих мер кибербезопасности, обеспечивая более надежную защиту от постоянно меняющихся вызовов, создаваемых киберпреступниками. Такие достижения имеют решающее значение для поддержания жизнестойкости и безопасности в нашем все более взаимосвязанном мире.

Тестирование на проникновение было инструментальным методом для выявления и устранения уязвимостей в информационных системах на протяжении последних нескольких десятилетий. Традиционно пентест предполагает имитацию хакерской тактики для выявления потенциальных слабых мест в системах или сетях, что требует обширных знаний и ручных усилий. Этот процесс не только отнимает много времени, но и в значительной степени зависит от специализированного опыта тестировщиков на

проникновение [1]. Исторически этот процесс развивался параллельно с цифровизацией организаций, становясь все более разнообразной по мере усложнения киберугроз.

Современный ландшафт кибербезопасности характеризуется разнообразием сложных угроз. Злоумышленники постоянно совершенствуют свои методы использования возникающих уязвимостей, тем самым создавая серьезные проблемы для защиты активов организации. Уязвимости распространяются на новые технологические области, включая облачные вычисления, устройства Интернета вещей (IoT) и сложные веб-приложения. Эта растущая среда угроз требует надежных методологий тестирования на проникновение для эффективного прогнозирования потенциальных нарушений безопасности и противодействия им [2].

Различие между ручным и автоматическим тестированием на проникновение образует еще один важный аспект этой области. В ручном тестировании на проникновение участвуют тестировщики, которые имитируют атаки, используя свой опыт, адаптивные возможности и навыки критического мышления. Такой подход позволяет тестировщикам творчески исследовать уязвимости и использовать слабые места, которые автоматизированные инструменты могут упускать из виду. Ручное тестирование часто дает более точные результаты по сравнению с автоматическим сканированием благодаря способности тестировщика всесторонне моделировать реальные сценарии атак. Примечательно, что автоматизированные инструменты могут генерировать ложноположительные результаты, что требует ручной проверки для обеспечения эффективности стратегий обнаружения и смягчения последствий [3].

В свою очередь, автоматизированное тестирование на проникновение использует передовые технологии, такие как искусственный интеллект и нейронные сети, для оптимизации процесса тестирования. Последние достижения в области искусственного интеллекта выдвинули автоматизированную систему пентеста на передний план стратегий кибербезопасности, обещая более высокую эффективность и сокращение человеческих усилий. Автоматизированное тестирование на проникновение включает в себя ключевые задачи, такие как планирование пути проникновения, при котором выбираются оптимальные пути атаки для максимального охвата тестированием и показателей успешности [4]. Несмотря на свои преимущества, автоматизированный пентест сталкивается с ограничениями, включая невозможность проявлять человекоподобную осмотрительность и адаптивность, что является критическими факторами для точной оценки сложных и нюансированных уязвимостей.

Сопоставление ручного и автоматизированного тестирования выявляет присущие им проблемы, влияющие на их соответствующую эффективность. Ручное тестирование отнимает много времени и требует значительных знаний, что может быть ограничением в сценариях, требующих быстрой оценки уязвимости. Автоматизированному тестированию, хотя и эффективному, может не хватать глубины и тонкого понимания нюансов, которые привносят в работу опытные тестировщики на проникновение [5].

Быстрое развитие киберугроз подчеркнуло необходимость передовых инструментов и методологий тестирования на проникновение. Традиционные меры безопасности часто нерациональны против сложных атак, что требует переоценки подхода специалистов по безопасности к обнаружению уязвимостей. Архитектуры нейронных сетей, такие как сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN) и генеративные состязательные сети (GAN), стали перспективными решениями для автоматизации рабочих процессов тестирования на проникновение и повышения точности оценок безопасности.

Сверточные нейронные сети (CNN) оказались особенно эффективными при выявлении и категоризации шаблонов в обширных наборах данных, что делает их идеальными для приложений безопасности. [1] Применение моделей CNN при тестировании проникновения в беспроводные сети с использованием набора данных

BoTNeTIoT-L01, который содержит более 7 миллионов записей об атаках ботнетов Интернета вещей. Благодаря использованию слоев для свертки, максимального объединения и плотных подключений их модель CNN достигла впечатляющего показателя точности 99,46% при классификации различных форм вредоносного ПО, включая рекламное ПО, шпионское ПО и вирусы (рисунок 1).

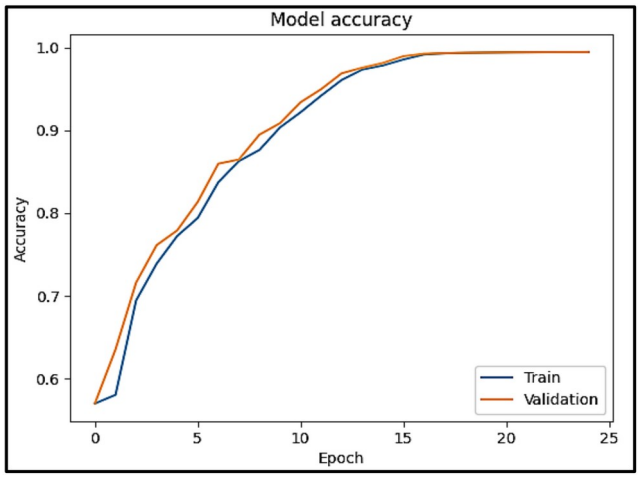


Рис. 1 точность обучения нейронной сети CNN

Использование алгоритма оптимизации еще больше повысило способность модели адаптироваться к новым и появляющимся угрозам, доказав ее масштабируемость и надежность. Это указывает на то, что CNNs может быть высокоэффективным средством обнаружения уязвимостей в системе безопасности и предлагает масштабируемое решение для автоматического тестирования на проникновение во все более сложные сети.

Рекуррентные нейронные сети (RNN) превосходно справляются с задачами, требующими последовательной обработки данных и распознавания временных образов, такими как обнаружение аномалий. Исследователи потенциал рекуррентных сетей в области медицины для анализа данных датчиков электрокардиограммы (ЭКГ) с целью выявления аномалий (рисунок 2). Их исследование оптимизировало архитектуры RNN с использованием модифицированного алгоритма оптимизации роя частиц, добившись значительного повышения производительности по сравнению с другими современными оптимизаторами. В то время как их исследования были сосредоточены на медицинских данных, принципы использования RNNS для обнаружения аномалий могут быть напрямую применены к приложениям кибербезопасности. Например, при тестировании на проникновение RNNS могут использоваться для мониторинга структуры сетевого трафика и выявления отклонений, указывающих на потенциальные нарушения безопасности, обеспечивая таким образом адаптивный механизм для обнаружения вторжений в режиме реального времени.

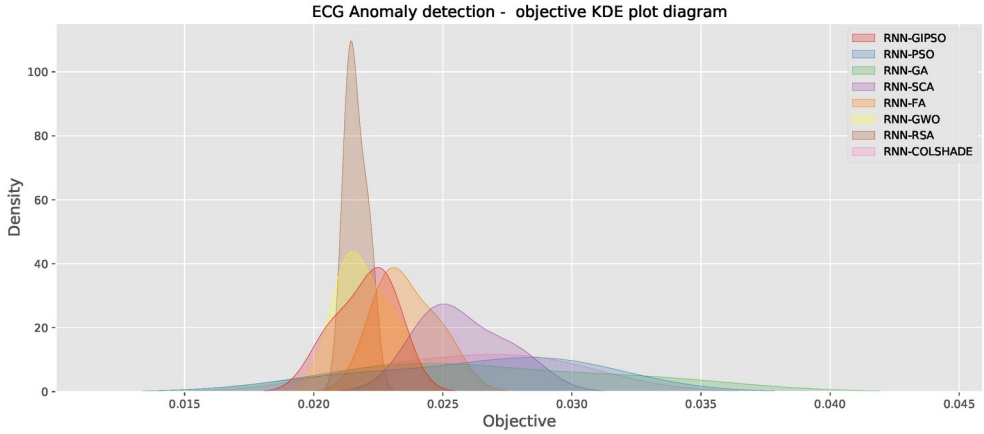


Рис. 2 тестирование Рекуретных сетей на большом объеме данных

Генеративные состязательные сети (GAN) внедряют уникальный подход к кибербезопасности, генерируя достоверные данные, которые могут быть использованы для обучения и улучшения моделей обнаружения. Платформа обнаружения вредоносных программ на основе GAN, названную PlausMal-GAN, направленную на выявление вредоносных программ нулевого дня путем создания аналогичных данных о вредоносном ПО. GAN состоят из двух нейронных сетей — генератора, который создает выборки данных, и дискриминатора, который их оценивает. Благодаря обучению как на реальных, так и на сгенерированных образах вредоносных программ, дискриминатор в их среде продемонстрировал расширенные возможности по обнаружению вредоносных программ нулевого дня. Фреймворк PlausMal-GAN стабильно хорошо работал в различных моделях GAN, таких как глубокие сверточные GAN и GAN Вассерштейна с ограничением градиента, что подчеркивает его потенциал для использования в системах обнаружения в реальном времени. Способность GAN моделировать новые угрозы и обучать модели обнаружения для этих моделируемых угроз значительно повышает адаптивность и охват инструментов тестирования на проникновение. (рисунок 3)

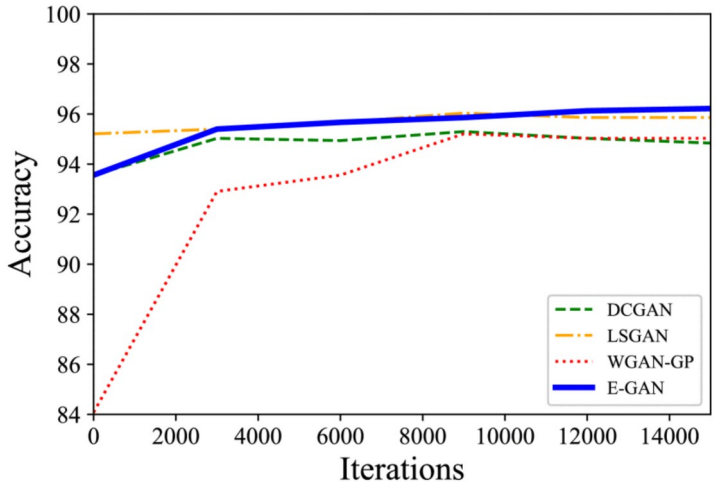


Рис. 3 тестирование GAN сетей на большом объеме данных

Подводя итог, можно сказать, что интеграция CNNS, RNNs и GAN в методологию тестирования на проникновение предлагает многогранный подход к кибербезопасности. CNNS превосходны в распознавании образов и классификации в больших наборах данных, что делает их ценными для выявления известных уязвимостей и адаптации к новым угрозам. RNN обладают значительным потенциалом в обнаружении

аномалий в режиме реального времени благодаря своей способности обрабатывать и анализировать последовательные данные, в то время как GAN предоставляют инновационные средства для обучения моделей моделируемым сценариям угроз, улучшая обнаружение уязвимостей "нулевого дня". Вместе эти архитектуры нейросетей представляют собой продвинутый инструментарий для автоматизации процессов тестирования на проникновение, гарантируя, что меры безопасности остаются надежными и эффективными перед лицом развивающихся киберугроз.

Сопоставление ручного и автоматизированного пентеста выявляет присущие им проблемы, влияющие на их соответствующую эффективность. Ручное тестирование отнимает много времени и требует значительных знаний, что может быть ограничением в сценариях, требующих быстрой оценки уязвимости. Автоматизированному тестированию, хотя и эффективному, может не хватать глубины и тонкого понимания нюансов, которые привносят в работу опытные тестировщики на проникновение.

Список литературы

1. Аль-Сауди, М. С. М., & Хамзе, К. (2024). Тестирование беспроводных сетей на проникновение с использованием искусственного интеллекта: улучшение обнаружения уязвимостей в системе безопасности с использованием моделей CNN. Международный исследовательский журнал инноваций в технике и технологиях. https://doi.org/10.47001/irjiet/2024.805034
2. Чен З., Кан Ф., Сюн Х. и Шу Х. (2024). Опрос по планированию пути проникновения в автоматизированном тестировании на проникновение. Прикладные науки, 14 (18), 8355. https://doi.org/10.3390/app14188355
3. Фишер Р., и Юри У. (1981). Переход к Согласию: ведение переговоров о соглашении без уступок. Книги о пингвинах.
4. Минич, А., Йованович, Л., Бачанин, Н., Стойан, С., Живкович, М., Спалевич, П., ... Стойан, Р. (2023). Применение рекуррентных нейронных сетей для обнаружения аномалий в данных датчиков электрокардиограммы. Сенсоры (Базель, Швейцария), 23. https://doi.org/10.3390/s23249878
5. Тестирование на проникновение: Анализ новых технологий и их влияния на тестирование пером. (2023). Тестирование на проникновение: анализ новых технологий и их влияния на тестирование пером. Международный журнал по инженерным технологиям и информатике, 4 (4). https://doi.org/10.51626/ijeti.2023.04.00064
6. Рейн, Н., и Куреши, А. (2024). Сравнительный анализ автоматического сканирования и ручного тестирования на проникновение для повышения кибербезопасности. 2024 12-й Международный симпозиум по цифровой криминалистике и безопасности (ISDFS), 1-6. https://doi.org/10.1109/ISDFS60797.2024.10527240
7. Вон, Д.О., Чан, Ю.-Н. и Ли, С.-В. (2023). PlausMal-GAN: вероятное обучение вредоносным программам на основе генеративных состязательных сетей для аналогичного, 11, 82–94. https://doi.org/10.1109/TETC.2022.3170544

Белоносов Александр Олегович — магистрант, Казахский Национальный университет им. Аль-Фараби, 050000, Алматы; e-mail: a.belonosov12@gmail.com

ДЕРЕКТЕРДІ ҚАУІПСІЗ ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ГОМОМОРФТЫ ОПЕРАЦИЯЛАРДЫ ҚОЛДАЙТЫН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ELGAMAL КРИПТОЖҮЙЕСІ

Ж.Н. Мырзақұл
Email: zhansaya.myrzakul@mail.ru
Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа. *Мақалада сызықтық диофант теңдеуін шешу үшін кеңейтілген Евклид алгоритмін қолдана отырып, Эль-Гамаль криптожүйесінде аппараттық құрастырудан кейін кері шифрлаудың тиімді оптимизациялануы орындалады. Криптографияда көп биттік сандарды қолдануды ескеретін схема құру мәселесіне сүйене отырып, Эль-Гамаль ашық кілтті криптожүйесін гомоморфты қасиет бойынша іске асыру мысалы көрсетіледі. Кері шифрлау процессіндегі шешімді табу үшін оптимизацияланған кеңейтілген Евклид алгоритмі қолданылады. Ұсынылған алгоритмде Эль-Гамаль ашық және құпия кілттерді қалыптастырғаннан кейін шифрлау процессі жүзеге асқан соң, шифрланған деректі кері шифрлау мәнін диофант теңдеу мәні , бұл кеңейтілген Евклид алгоритмін бір рет қана орындауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, сызықтық диофант теңдеуін шешуге арналған рекурсивті теңдеулер саны 10-нан 7-ге дейін азаяды. Эль-Гамаль шифрын кері шифрлауда* $s^{-1}=C_1^x \bmod p$ *кері мәнін таппай, шифрланған деректер сызықтық диофант теңдеуінің жеке шешімінен тікелей есептеледі. Мақалада ұсынылған алгоритм негізінде Эль-Гамаль криптожүйесінің блок схемасы құрылып, гомоморфты көбейту амалы бойынша оптимизацияланған мәндер алынды.*

Кілттік сөздер: *Эль-Гамаль криптожүйесі, криптография, Евклидтің кеңейтілген алгоритмі, диофант теңдеуі, шифрлау, кері шифрлау.*

Кіріспе

«Мемлекеттік құпия туралы» ҚР 1999 жылғы 15 наурыздағы № 349-I Заңына сәйкес, мемлекеттік құпияға жатқызылған ақпаратты, оның ішінде криптографиялық құралдарды пайдалана отырып қорғау маңыздылығы айтылады [1]. «Дербес деректерді қорғау туралы» ҚР 2013 жылғы 21 мамырдағы № 94-V ҚР Заңы: деректерді өңдеудің құпиялылығы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін криптографиялық әдістерді қолдануды қоса алғанда, жеке деректерді қорғау шараларын қолдану керектігінің маңызы айтылады [2]. Қазақстан Республикасында ақпараттық қауіпсіздік саласында маңызды нормативтік құжаттардың бірі – ГОСТ 34.10-2018 стандарты. Бұл стандарт ақпаратты криптографиялық қорғаудың заманауи әдістерін және электрондық цифрлық қолтаңбаны қалыптастыру мен тексеру процестерін реттейді [3]. Киберқауіпсіздік тұжырымдамасы («Қазақстанның киберқалқаны») (бұдан әрі – Тұжырымдама) [4] Қазақстанның әлемнің ең дамыған 30 мемлекетінің қатарына кіруі жөніндегі «Қазақстан-2050» стратегиясының ұстанымдарын ескере отырып, Қазақстан Республикасы Президентінің «Қазақстанның үшінші жаңғыруы: Жаһандық бәсекеге қабілеттілік» Жолдауына сәйкес әзірленді. Осы тұжырымдамаға сәйкес, ақпараттық қауіпсіздікті қорғау және қорғау шараларын дамыту үшін әртүрлі әдіс-тәсілдер қолданылып, мүмкін болатын барлық салаларда жетекші жобалар жасалынып, іске асырылуда. Киберқауіпсіздік және ақпараттың құпиялылығын қамтамасыз ету мәселелерінің маңыздылығының артуымен криптографиялық қорғаудың тиімді әдістерін әзірлеу басымдыққа айналды [5]. Физикалық қорғалған кілттерді беру арналарымен байланысты шектеулерді болдырмайтын асимметриялық криптожүйелер контекстінде төзімділікті қамтамасыз етіп қана қоймай, сонымен қатар аппараттық құралдарды реализация жасау жоғары өнімділікті көрсететін алгоритмді таңдауға ерекше назар

аударылады. Эль-Гамаль криптожүйесі осы тұрғыда перспективалық шешім ретінде ерекшеленеді. Кеңінен қолданылатын RSA алгоритмімен салыстырғанда, Эль-Гамаль әсіресе аппараттық құралдарды енгізу тұрғысынан артықшылықтарды көрсетеді. Эль-Гамаль алгоритмге бейімделген оптимизацияланған кеңейтілген Евклид алгоритмі есептеу шығындарын азайтуға және кері шифрлау кезінде қажетті қадамдар санын азайтуға мүмкіндік береді.

Эль-Гамаль алгоритмі криптографияның әртүрлі салаларында, негізінен құпиялылық пен аутентификация үшін қолданылады [6]. Эль-Гамаль алгоритмін хабарлар мен деректерді шифрлау үшін пайдалануға болады. Бұл әсіресе тасымалданатын ақпараттың құпиялылығы маңызды сценарийлерде пайдалы. Негізгі алмасу протоколдары: Эль-Гамаль алгоритмі екі тарап арасында ортақ құпия кілтті орнату үшін кілт алмасу протоколдарында жиі пайдаланылады [7]. Мысалы, оны Диффи-Хеллман протоколында қолдануға болады. Электрондық қолтаңба: Эль-Гамаль алгоритмі аутентификация мен деректердің тұтастығын қамтамасыз ететін электрондық қолтаңбаларды жасау үшін пайдаланылуы мүмкін [8]. Бұл хабарламалардың авторлығы мен түпнұсқалығын тексеру қажет жүйелерде маңызды. Аутентификация хаттамалары: Эль-Гамаль аутентификация хаттамаларында қолданылуы мүмкін, мұнда тараптар өздерінің жеке басын растай алады және жалғандық мүмкіндігін болдырмайтын жолмен деректер алмасуы мүмкін. Торға негізделген криптография: Эль-Гамаль алгоритмін торға негізделген криптографияда қолдануға да бейімдеуге болады, бұл криптожүйелерді қорғаудың заманауи тәсілдерінің бірі болып табылады. Тұтастай алғанда, Эль-Гамаль алгоритмі күшті криптографиялық құралдарды қамтамасыз етеді және оны қолдану белгілі бір тапсырманың немесе жүйенің нақты талаптары мен сипаттамаларына байланысты. Эль-Гамаль алгоритмі белгілі гомоморфты шифрлау тұрғысынан тиімді алгоритмдерінің бірі және деректердің сенімділігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін шифрлау схемасын таңдағанда назар аударуға тұрарлық [9]. Эль-Гамаль алгоритмін сенімді шешім ретінде таңдауға болатын бірнеше негізгі аспектілер: Математикалық негіз - Эль-Гамаль алгоритмі дискретті логарифмді есептеудің күрделілігіне негізделген, бұл қазіргі заманғы компьютерлер үшін күрделі мәселе. Бұл математикалық негіз криптографиялық төзімділіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді.

Эль-Гамаль алгоритмі аддитивті гомоморфтық қасиетке ие. Бұл шифрланған деректердің (мысалы, қосу) операцияларын олардың шифрын ашпай-ақ орындауға болатындығын білдіреді. Мұндай қасиеттер шифрланған деректерді олардың мазмұнын ашпай өңдеуді қажет ететін қосымшалар үшін, яғни бұлтты есептеулерде және IoT жүйелерінде маңызды. «Can homomorphic encryption be practical?» - мақаласында қазіргі жүйелерде гомоморфты шифрлаудың практикалық қолданылуын талқылау, және оның тиімділігі бойынша нәтижелермен салыстыру мысалдары айтылады [10].

Бракерски және Вайкунтанатан өз зерттеулерінде гомоморфты криптожүйелердің қауіпсіздігін талдау кезеңінде кванттық шабуылдарға төзімділікті қоса алғандағы артықшылық факторларын атап көрсетеді [11]. Осыған сәйкес, гомоморфты қасиеті бар шифрлау криптожүйесін таңдау үшін, криптотөзімділігі жоғары Эль-Гамаль жартылай гомоморфты алгоритмді таңдау тиімді. H. Park, J. Lee, Y. Ki өз мақалаларында төмен қуатты құрылғыларда жұмыс істеу үшін Эль-Гамаль криптожүйесін оңтайландыру әдісін ұсынады [12]. Демек, осы шифрлау алгоритмін IoT үшін қолдану арқылы қауіпсіздікті жоғарлатуға болады. Машиналық оқыту тапсырмаларында гомоморфты шифрлауды қолдану зерттеулеріне сәйкес, шифрлау алгоритмін таңдауға да аса мән беріледі [13]. Электрондық дауыс беру жүйелері үшін гомоморфты шифрлауды қолдануды зерттеу негізінде құпиялық пен қауіпсіздік жақсарту ұсынылады [14]. Зерттеулерде [15] толық гомоморфты шифрлау үшін жақсартулар ұсынылады, бұл оны бұлтты есептеулерге қолдануға болатынын көрсетеді, бірақ тиімділік тұрғысынан жартылай гомоморфты жүйелердің өнімділігі туралы айтылмайды. Осыған сәйкес, осы мақалада гомоморфты шифлау алгоритмін

модификациялау жүзеге асырылды. Соңғы зерттеулерде көп қолданушы үшін арналған гомоморфты шифрлаудың жаңа әдістерін ұсынады, бұл әсіресе таратылған жүйелерге қатысты, бірақ дәстүрлі әдістермен салыстыру кезінде жартылай гомоморфты криптожүйелерді көп қолданушы операциялары үшін қолдану тиімдірек алгоритмдерді ұсынады [16].

RSA гомоморфты көбейтуді қамтамасыз етеді [17], бірақ деректерді беру кезінде және біріктіру кезінде қауіпсіздік қажет болатын тапсырмаларда ғана қолданылады. Ал, Эль-Гамаль көбейтуді қолдайды және қауіпсіз дауыс беру және аутентификация мен деректерді қауіпсіз тасымалдауға қатысты басқа тапсырмалар үшін кеңінен қолданылады [18]. Бұл алгоритм гомоморфты қасиеті бойынша жартылай гомоморфты, шифрланған деректерге көбейту операциясын қолдайды. Көбейту операциясы қажет болатын тапсырмалар үшін қолданылады. Дауыс беру жүйелерінде, цифрлық қолтаңбаларда және деректерді қауіпсіз беруде танымал. Дискретті логарифмді есептеудің күрделілігіне негізделген. Қауіпсіздік тұрғысынан жақсы зерттелген және іс жүзінде кеңінен қолданылады. Шектеулер бойынша тек көбейтуді қолдайды, бұл оның шифрланған деректерге қарағанда күрделі есептеулердегі мүмкіндіктерін шектейді [19]. Криптожүйені таңдау гомоморфты операциялар түріне қойылатын талаптарға байланысты. Эль-Гамаль көбейту маңызды болатын тапсырмалар үшін жақсырақ, ал Paillier және Benaloh қосу операциялары қажет болған жағдайда тиімді [20].

Эль-Гамаль кванттық компьютерлердің шабуылына төзімді болып саналады, бұл болашақ технологиялық қауіптер контекстінде маңызды факторға айналды. Бұл криптожүйе ұзын кілттерді пайдалану кезінде қауіпсіздіктің артықшылығына ие, сонымен қатар қазіргі қауіпсіздік стандарттары аясында қарастырылуда.

Эль-Гамаль алгоритмі аппараттық іске асыру контекстінде шифрлау кезеңінен соң кері шифрлауды кеңейтілген Евклид алгоритм көмегімен іске асыруға мүмкіндік береді, осылайша күрделілікті төмендетіп, өнімділікті жақсартады. Бұл тәсіл Эль-Гамаль криптожүйесін цифрлық технологияларды кеңінен енгізудің заманауи жағдайында тұрақтылық пен тиімділік арасындағы тепе-теңдікті қамтамасыз ете отырып, табысты аппараттық іске асыру үшін перспективалы етеді.

Материалдар мен әдістер

Ашық және құпия кілттерді генерациялау:

1. Кездейсоқ жай сан p таңдалады;
2. g бүтін сан таңдалады;
3. x кездейсоқ бүтін сан таңдалады $1<x<p-1$;
4. $y=g^x \bmod p$ есептеледі;
5. Ашық кілт (y, g, p), құпия кілт – x саны.

Шифрлау

М хабарламасы р санынан аз болуы керек.Хабарлама келесідей шифрланады:

1.Сеанс кілті таңдалады - кездейсоқ бүтін сан, k бұл $1<k<p-1$;

2.$C_1=g^k \bmod p$ және $C_2=y^k \bmod p$ сандары есептелінеді;

3.(C_1, C_2) сандар жұбы шифр мәтіні болып табылады.

Кері шифрлау

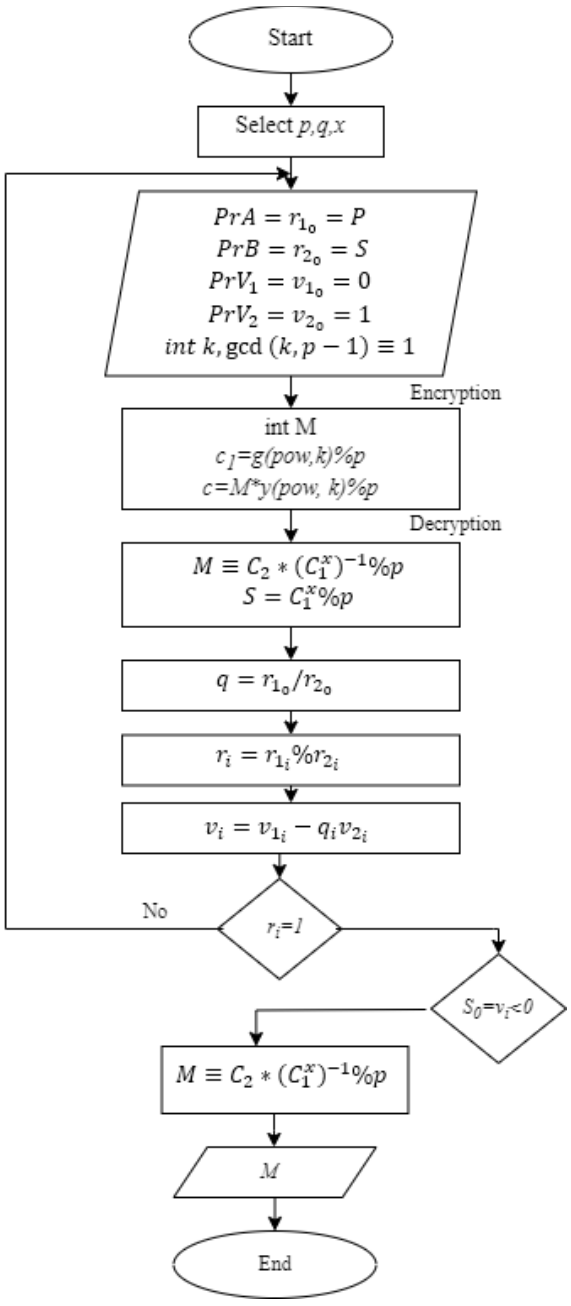
Құпия кілт x біле отырып, бастапқы хабарламаны формула бойынша ($C1, C2$) шифр мәтінінен есептеуге болады:

$$M \equiv C_2 * (C_1^x)^{-1} \bmod p \qquad (1)$$

$gcd(s, p)=1$ шарты s мәні үшін әрқашан pмодулі бойынша кері элемент бар екенін көрсетеді.

Шифрлау процесін оңай есептеуге болады, ал кері шифрлау кезде кері элементті табу және есептеу қиындай түседі.

Кері шифрлау шифрланған мәтіннің (s, p) мәндерін қолдана отырып, кеңейтілген Евклид алгоритмін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Құрылған алгоритмнің блок-схемасы 1 – суретте көрсетілген.



1 сурет – Эль-Гамаль алгоритмін шифрлау және кері шифрлау

Мысал 1.

Эль-Гамаль кілттерін құру:

1. Кездейсоқ жай сан $p=8191$ таңдалады;
2. $g=5$ бүтін сан таңдалады;

3. $x=94$ кездейсоқ бүтін сан таңдалады $1<x<p-1$;

4. $y=g^x \bmod p=5^{94} \bmod 8191=2956$ есептеледі;

5. Ашық кілт $(y,g,p)=(2956,5,8191)$, құпия кілт – $x=94$ саны.

Ал, енді шифрлау процессі басталады:

1.Сеанс кілті таңдалады - кездейсоқ бүтін сан $k=151, gcd(151,8190)=1$;

2. M ¿ $K'=75, C_1=5^{151} \bmod 8191=434$ және $C_2=75*2956^{151} \bmod 8191=6191$ сандары есептелінеді;

3.Шифрограмма (C_1,C_2) ¿$(434,6191)$.

Кері шифрлау үшін кеңейтілген Евклид алгоритмін қолдана отырып, екі анйымалы $(S)^{-1}$және а айнымалыларынан сызықтық диофанттық теңдеуді шешу қажет.

$$8191 \cdot a+44 \cdot (S)^{-1}=1 \qquad (2)$$

мұндағы, $S=C_1^x \bmod p=434^{94} \bmod 8191=5434$.

Кеңейтілген Евклид алгоритмі.

Бастапқы мәндер: $r_{1_0}=p=8191$; $r_{2_0}=S=5434$; $v_{1_0}=0$; $v_{2_0}=1$.

Рекурсия теңдеулері:

$q_i=r_{1_i} \div r_{2_i}; r_i=r_{1_i} \bmod r_{2_i}$; $v_i=v_{1_i}-q_i \cdot v_{2_i}$; $r_{1_i}=r_{2_{i-1}}$; $r_{2_i}=r_i$; $v_{1_i}= v_{2_{i-1}}$; $v_{2_i}=v_i$.

Рекурсияның аяқталу шарты $r_i=1$ болып табылады және шығу үшін v_i беріледі.

Түсінікті болу үшін кестеде есептелінді:

1 – кесте. Есептеу нәтижелері

i	***q***	***r₁***	***r₂***	***r***	***v₁***	***v₂***	***v***
1	1	8191	5434	2757	0	1	-1
2	1	5434	2757	2677	1	-1	2
3	1	2757	2677	80	-1	2	-3
4	33	2677	80	37	2	-3	101
5	2	80	37	6	-3	101	-205
6	6	37	6	1	101	-205	1331

$v=1331$

Сызықтық диофант теңдеуінің нақты шешімі$d_0=v=1331$.

Жалпы шешім: $d_0>0$, сондықтан $d=d_0=1331$. $r_6=1$ болғандықтан, $gcd(8191,5434)=1$.

Біз бұл үшін кері шифрлау процесін жалғасып және ең алдымен кері S мәнін білмеген кезде, есептеу ұсынылды:

$M \equiv C_2*(C_1^x)^{-1} \bmod p=6191*(434^{94})^{-1} \bmod 8191$ - мұнда үлкен сандармен жұмыс істегенде ескеру керек, кері мәнді табу да күрделі процесс. Осылайша, кеңейтілген Евклид алгоритмі көмегімен қолмен санау әдісін түсіну де оңайырақ иүрде көрсетілді. Әрі қарай, $S=C_1^x \bmod p=434^{94} \bmod 8191=5434$ есептеп, мұнда есептелген мәннің кері мәнін табу керек болады.

Сонымен, $(S)^{-1}=1331$ кері мәні табылды. Бұл мән жоғарыдағы диофантты теңдеудің шешімімен де, осы мән табылатынын дәлелдейді.

Тексеріп көретін болсақ, $M \equiv C_2*(C_1^x)^{-1} \bmod p=6191*1331 \bmod 8191=75$ бастапқы мәтіні алынады. Ескере кететіні, мұнда жай сан ретінде, алғаш рет 1456 жылы 4 таңбалы санның ішінен зерттелініп, дәлелденген 8191 саны қолданылды.

Жоғарыда көрсетілген 1-мысал бойынша, Эль-Гамаль криптожүйесінің кері шифрлау қадамындағы оптимизациялауға гомоморфтылық қасиетті қосқан кездегі есептеулер төменде 2 - мысалда көрсетілді:

Мысал 2.

1. Хабарламалар жұбы $m_1=75$ және $m_2=89$.

2. Кілт құру кезінде, 1-мысалда қолданылған парметрлер алынды. Есептеу бойынша псевдокод 2-суретте көрсетілген.

```
int main() {
    // Параметры
    unsigned long long p = 8191;
    unsigned long long g = 5;
    unsigned long long x = 94;
    unsigned long long k = 151;
    unsigned long long m = 75;

    // Генерация открытого ключа
    unsigned long long y = mod_exp(g, x, p);
    cout << "Открытый ключ (p, g, y): (" << p << ", " << g << ", " << y << ")" <<
        endl;

    // Шифрование
    unsigned long long c1 = mod_exp(g, k, p);
    unsigned long long c2 = (m * mod_exp(y, k, p)) % p;
    cout << "Шифротекст (c1, c2): (" << c1 << ", " << c2 << ")" << endl;

    // Расшифрование
    unsigned long long s = mod_exp(c1, x, p);
    unsigned long long m_decrypted = (c2 * mod_inv(s, p)) % p;
    cout << "Расшифрованное сообщение: " << m_decrypted << endl;

    return 0;
}
```

Сурет 2 – Эль-Гамаль криптожүйесінде шифрлау және кері шифрлау псевдокоды

Нәтижесінде, 2-мысал бойынша, хабарламар жұбы шифрланып, гомоморфтылық жүзеге асырылды.

Эл-Гамаль шифрлау алгоритмін көбейту амалына сәйкес гомоморфизмді орындау мысалы: $m=m_1*m_2 \, mod \, p=75*89 \, mod \, 8191=6675$.

Парметрлер бойынша ашық кілтті есептеу - $p=8191$, $g=5$, $x=¿$ 94; $y=g^x \, mod \, p=5^{94} \, mod \, 8191=2956$;

Ашық мәтіндер $m_1=75$, $m_2=89$ және сеанс кілттері $k_1=151$, $k_2=151$;

$C_{1_1}=434$, $C_{1_2}=6191$, $C_{2_1}=434$, $C_{2_2}=357$.

$C_{\sum ¿_1=C_{1_1}*C_{2_1} modp=434*434 \, mod \, 8191=8154¿}$, $C_{\sum ¿_2=C_{1_2}*C_{2_2} modp=6191*357 \, mod \, 8191=6808¿}$.

Шифрланған деректерге кері шифрлауды жүзеге асыру: $m \equiv C_2*\left(C_1^x\right)^{-1} modp=6808*\left(8154^{94}\right)^{-1} mod \, 8191=6808*2305 \, mod \, 8191=6675$, мұндағы, $m=6675$ шифрланған деректерді кері шифрлау арқылы орындалды. Сондай-ақ, $\left(C_1^x\right)^{-1} modp$ есептелуі 3 - суретте көрсетілген.

```
// Функция для возведения в степень по модулю
unsigned long long mod_exp(unsigned long long base, unsigned long long exp,
    unsigned long long mod) {
    unsigned long long result = 1;
    while (exp > 0) {
        if (exp % 2 == 1) {
            result = (result * base) % mod;
        }
        base = (base * base) % mod;
        exp /= 2;
    }
    return result;
}
```

```
// Расширенный алгоритм Евклида для нахождения обратного по модулю
long long gcd_extended(long long a, long long b, long long &x,
    if (a == 0) {
        x = 0;
        y = 1;
        return b;
    }
    long long x1, y1;
    long long gcd = gcd_extended(b % a, a, x1, y1);
    x = y1 - (b / a) * x1;
    y = x1;
    return gcd;
}
```

Сурет 3 – Кеңейтілген Евклид алгоритмімен $\left(C_1^x\right)^{-1} modp$ модуль бойынша кері санды табу псевдокоды

Жоғарыда келтірілген есептеулерге сәйкес, Эль-Гамаль криптожүйесінде көбейту амалына қатысты, гомоморфтылық қасиет орындалатыны дәлелденіп көрсетілді. Осыған сәйкес, кері шифрлаумен оптимизацияланған алгоритм C++ тілінде программалық түрде іске асырылды.

Эль-Гамаль криптожүйесінде көбейту амалына қатысты гомоморфизмді іске асырғаннан кейін тестілеу жүргізу мақсатында GMP кітапханасы орнатылды. Кітапхананың артықшылықтары: GMP немесе GNU MultiPrecision Library - өзгермелі нүктелік есептеулерге арналған, бүтін және рационал сандарды есептеуге арналған Си тілінде жазылған кітапхана. Кітапхана криптографиялық мақсаттарда және компьютерлік есептеулер үшін кеңінен қолданылады. Бұл кітапхана gcc құрастыру үшін қажет. Осы кітапхананы орнатып болған соң, әртүрлі ұзындықтағы жай сандармен есептелу мысалдары қарастырылды (4 - суретте толығырақ).

```
v1=75
v2=89
Prime bits=60

Public key:
g=59422676619313117
Y=263650645786665599
p=785349183631184611

Private key
x=398127664824686164

Encrypted (v1)
a=624813379130404404
b=133963568893463711

Encrypted (v2)
a=89774622386682586
b=682613879162077496

After homomorphic encryption
a=2411906098283865 74
b=667210515366759433

Result:  6675
```

```
v1=75
v2=89
Prime bits=128

Public key:
g=208830084579903928201108039375253262678
Y=193312451400119991740685529708998716552
p=335809702931624728256015267217480144473

Private key
x=155789069369873948709677037928624613424

Encrypted (v1)
a=132129576284683771543515372270258061960
b=244214922500109530757514682812436032065

Encrypted (v2)
a=440855818293813400560510184179952803 48
b=138228886689965580801284004331683896415

After homomorphic encryption
a=220693084630260185276226361454382406526
b=198793941712212960605877349480652063349

Result:  6675
```

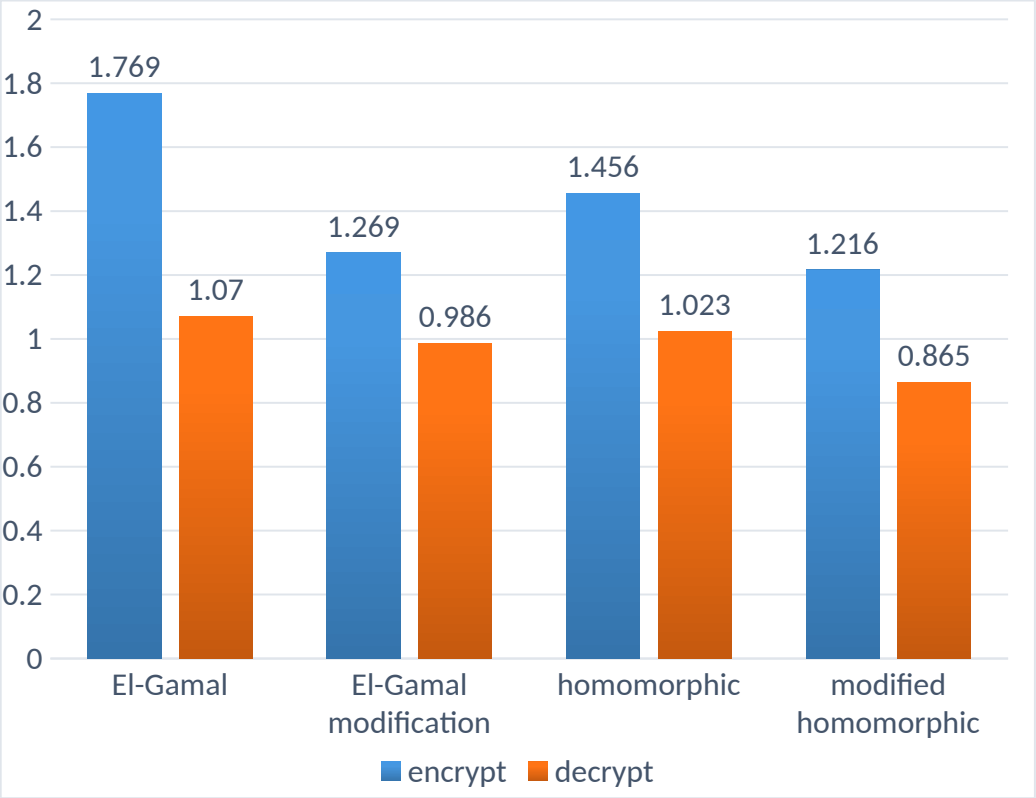
Сурет 4 – 60 және 128 биттік жай сандар үшін орындалу мысалы

Криптожүйенің дұрыс жұмыс істеуі үшін шамамен алынған жуық есептеулерге салыстыру жұмыстары жүргізілді. Бүтін сандармен есептеулер іске асырылды. v_1 және v_2 хабарламалар жұбы шифрланған соң, гомоморфты шифрлау мәндері a және b болып табылады.

Файлды шифрлау және кері шифрлау:

- файлды оқып, ол 16 байт блоктарға бөлінеді;
- әр блок эль-гамаль схемасын қолдана отырып шифрланады;
- әр блокты кері шифрлап, деректердің тұтастығын тексеріледі.

Файлды шифрлауға және кері шифрлауға кететін уақыт өлшенеді. Осыған сәйкес, 8 кб файл үшін шифрлау және кері шифрлау уақыттары көрсетілген салыстыру диграммасы құрылды (5-суретте).



Сурет 5 – Шифрлау және кері шифрлау кезіндегі жуық есеппен уақыт

Оптимизацияланған кері шифрлаудан кейін, 5-суретте жуық есеппен алынған уақыт өлшемдері көрсетілген. Нәтижелерге сәйкес, кері шифрлау уақыты жай санның ұзындығына байланысты өзгеріп отыратыны анық, яғни бұл өзгерістерден кейін де модификацияланған гомоморфты шифрлау алгоритмінің жылдам есептеуге ие екенін көруге болады. Оны төменде 6 - суретте көрсетілген 1024 биттік жай санымен орындалған мысалдан анықтауға болады.

```
v1=75
v2=89
Prime bits=1024

Public key:
g=111619379088255875257901745247339857245626233928163426504722553749124913951831865625075588102071638313914743
096520185402900426186190506442038707297885595752294868082115895994341335720661517916518971646382193308260856 19
592722957390345776189204503294556870601257438450480309872901984661662356772009190618973 90
Y=388582056066280674281939469195376464121845913201469765274218889603718662442014966892805090944814060164500826
604169181667028604541192871882976139184728170231768298686440673833927090595203925474430813909409673120748202 76
326919079356023755769449779862626410870862982670564428865831090900641092558908832256033264
p=996233730666637199190979045199831333341647115966314563480485505329994924548332212741991041653485801245900661
914269024937248859793043244761346931337892494101512777052017650678212811023018726473759851619038486427883137 46
570350765718082445612162841110349820526552298611623677241847555317714893377309130172652521

Private key
x=846600256807036721718508150783000623172656886883372207167616804581036768777248571506093896315822486475867466
602221877214292267301674241086315262047333120469620695239326432585634667581348402146888184566105290364031479 87
253750840993135353268287547080265346103309259514423062910128159253054827837927581320258113
```

Сурет 6 – 1024 биттік жай сандар үшін орындалу мысалы

1024 биттік жай сандардың параметрлерімен шифрлау қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді, бірақ кішігірім кілттермен салыстырғанда көп уақытты қажет етеді. 8 кб файл үшін бұл уақыт байқалуы мүмкін, бірақ деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін бұл қолайлы баға.

Нәтижелер мен талқылау

Оптимизациядан кейін келесі нәтижелерге қол жеткізілді:

- кеңейтілген Евклид алгоритм көмегімен кері шифрлау кезінде S мәнінің кері мәнін табу үшін тек бір рет қолданылды;

- негізінде сызықтық диофант теңдеуін шешу үшін 10 рекурсия теңдеуі қажет, оптимизациядан кейін теңдеулер саны 7-ге дейін қысқарды;

- d_0 мәнін білуімізге сәйкес, S кері мәнін, t-ға таңдауды орындамай-ақ анықтауға болатыны белгілі болды.

1024 биттік жай сандармен шифрлау параметрлерін қолдана отырып алгоритмді жүзеге асыру және 8 КБ файлды шифрлау туралы айтатын болсақ, бірнеше факторларды ескеру қажет. Біріншіден, жұмыс уақыты және файл өлшемі: файл неғұрлым үлкен болса, оны шифрлау соғұрлым ұзақ болады. Кілт өлшемі: кілт өлшемі неғұрлым үлкен болса, криптографиялық операцияларды орындау үшін соғұрлым көп уақыт қажет. Ал қауіпсіздік тұрғысынан кілт өлшемі неғұрлым үлкен болса, қауіпсіздік соғұрлым жоғары болады, бірақ бұл есептеу жүктемесін арттырады. Сонымен, 1024 биттік жай сандардың параметрлерімен: 1024 биттік жай сандар қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етеді. 1024 биттік кілттерді қолданатын криптографиялық операциялар (мысалы, шифрлау және кері шифрлау) кішігірім кілттермен (мысалы, 256 биттік) салыстырғанда көп уақытты алады. 8 кб файлды шифрлау әр деректер блогы үшін криптографиялық операцияны қажет етеді. Файл өлшемі операциялар санына әсер етеді, бірақ әр операцияның күрделілігіне әсер етпейді.

Қорытынды

Модификацияланған гомоморфты шифрлау алгоритмі қауіпсіздікті жақсартуда маңызды рөл атқарады. Бұл желілердегі деректерді жіберу және өңдеу кезінде ақпараттың ағып кету қаупін азайта отырып, шифрланған деректерде есептеулер жүргізуге мүмкіндік береді. Эль-Гамаль криптожүйесінде гомоморфты көбейту операциясын жүзеге асыруға бағытталған зерттеу нәтижесінде криптографиялық процестердің тиімділігі мен қауіпсіздігін арттыруға ықпал ететін маңызды нәтижелерге қол жеткізілді. Ұсынылған әдістер мен алгоритмдер олардың өміршеңдігін және деректерді гомоморфты өңдеуді қамтамасыз ету үшін практикалық қолданылуын көрсетті, бұл қорғалған есептеу саласында жаңа перспективалар ашады. Қолданыстағы шешімдерге шолу және біз ұсынған тәсілдер гомоморфты операцияларды Эль-Гамаль криптожүйесіне біріктіру оның функционалдығын едәуір кеңейтіп, оны өңдеу кезінде ақпараттың қауіпсіздігін жақсарта алатындығын көрсетті. Нәтижелер бұлтты есептеу және қауіпсіз дерекқорлар сияқты нақты қолданбаларда технология деректерін енгізу әлеуетін көрсетеді. Осылайша, Эль-Гамаль сияқты криптожүйелердегі гомоморфты көбейту әдістерін одан әрі модификациялау және оптимизациялау сенімдірек және тиімдірек криптографиялық жүйелерді құру жолындағы маңызды қадамдар болып табылады. Осы бағыттағы зерттеулер ағымдағы шешімдерді жақсартуға ғана емес, сонымен қатар қазіргі қауіп-қатерлер жағдайында деректерді қорғаудың жаңа мүмкіндіктерін ашуға ықпал етеді. Модификацияланған алгоритм классикалыққа қарағанда, жуық есеппен ≈15,2% жылдамырақ жұмыс істейді.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Қазақстан Республикасының 1999 жылғы 15 наурыздағы № 349-I Заңы «Мемлекеттік құпиялар туралы».

2. Қазақстан Республикасының 2013 жылғы 21 мамырдағы № 94-V Заңы «Дербес деректер және оларды қорғау туралы».

3. ГОСТ 34.10-2018. Информационная технология. Криптографическая защита информации. Процессы формирования и проверки электронной цифровой подписи.

4. Правительство Республики Казахстан. (2017). Постановление от 30 июня 2017 года № 407 "Об утверждении Концепции кибербезопасности ("Киберщит Казахстана")". Астана. Доступно по: [https://adilet.zan.kz/rus/docs/P1700000407].

5. Ian F. Blake and Theo Garefalakis. On the complexity of the discrete logarithm and diffie-hellman problems. J. Complex., 20(2-3):148–170, 2004.

6. Dan Boneh. The decision Diffie-Hellman problem. Lecture Notes in Computer Science, 1423:48–63, 1998.

7. Dan Boneh, Antoine Joux, and Phong Q. Nguyen. Why textbook Elgamal and RSA encryption are insecure. In ASIACRYPT ’00: Proceedings of the 6th International Conference on the Theory and Application of Cryptology and Information Security, pages 30–43, London, UK, 2000. Springer-Verlag.

8. Трепачева А. В., Бабенко Л. К. Формальный криптоанализ полностью гомоморфных систем, использующих задачу факторизации чисел // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2015. № 24. – С. 283–286.

9. Temirbekova Zh.E., Pyrkova A.Yu. “Using FHE in a binary ring Encryption and Decryption with BLE Nano kit microcontroller” // E3S Web of Conferences 202 (ICENIS 2020), 2020. – P. 687-712.

10. M. Naehrig, K. Lauter, V. Vaikuntanathan. Can Homomorphic Encryption Be Practical? Proceedings of the 3rd ACM Workshop on Cloud Computing Security Workshop (CCSW '11), 2011, pp. 113-124.

11. Brakerski, Z., Vaikuntanathan, V. (2020). On the Security of Homomorphic Encryption against Quantum Attacks. Proceedings of the 41st Annual International Cryptology Conference (CRYPTO 2020), 45, 621-639.

12. Park, H., Lee, J., Kim, Y. (2022). Optimizing ElGamal Cryptosystem for Low-Power Devices. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 17, 1825-1835.

13. Bourse, F., Minelli, M., Orsini, E., Smart, N. P. (2021). Homomorphic Machine Learning on Encrypted Data. ACM Transactions on Privacy and Security, 24(1), 3–27.

14. Castelluccia, C., Chaumette, S., Neven, G. (2020). Partially Homomorphic Encryption for Secure Electronic Voting Systems. Journal of Cryptographic Engineering, 8, 287-301.

15. Lauter, K., Naehrig, M., Vaikuntanathan, V. (2020). Homomorphic Encryption and its Practical Application. Annual Review of Cryptology, 42, 567-596.

16. Gama, N., Izabachène, M., Smart, N. (2021). New Techniques for Multiparty Homomorphic Encryption. Journal of Cryptology, 34, 32-48.

17. Chen, L., Lou, X., Zhan, Y. (2019). Partially Homomorphic RSA Encryption for Secure Data Aggregation. International Journal of Communication Systems, 32(12), 4002-4016.

18. Katz, J., Lindell, Y. (2020). Practical Applications of the ElGamal Cryptosystem in Modern Cryptography. Journal of Cryptographic Engineering, 10, 121-138.

19. Huang, J., Li, J., Wang, L. (2020). Enhanced Security and Efficiency of ElGamal Encryption for Homomorphic Applications. Journal of Cryptographic Engineering, 10, 177-189.

20. Halevi, S., Shoup, V. (2019). Algorithms in Fully Homomorphic Encryption. Advances in Cryptology - EUROCRYPT 2019, 558-579.

Мырзақұл Жансая Нұрматуллақызы - әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Ақпараттық технологиялар факультеті, Киберқауіпсіздік және криптология кафедрасы, Ақпараттық қауіпсіздік жүйелері мамандығының 2-курс магистранты, zhansaya@mail.ru

ПРОТОКОЛ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИКСИРОВАННЫХ БИТОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Андреев И.А.[1,2], Тебуева Ф.Б.[2], Абдураимова Б.К.[1], Боранбай Ж.А.[1], Сатыбалдина Д.Ж.[1]
e-mail: andreev.ilia.1984@mail.ru, abduraimova_bk@enu.kz, fariza.teb@gmail.com, boranbay_zha3@enu.kz, satybaldina_dzh@enu.kz
[1]НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Республика Казахстан
[2]ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Российская Федерация

Аннотация. *В статье предложен протокол многофакторной аутентификации периферийных устройств на основе фиксированных битов в системах промышленного Интернета вещей. Использование физически неклонируемых функций и* протоколов *безопасности физического уровня позволяет защитить устройство от атак, включая воспроизведение и клонирование, минимизируя при этом вычислительные затраты. Лабораторные эксперименты и верификация схемы аутентификации на основе* протокола *формального доказательства позволили оценить безопасность и производительность предложенного подхода.*

Актуальность

Область аутентификации устройств в Интернете вещей (the Internet of Things, IoT) и промышленном Интернете вещей (the Industrial Internet of Things, IIoT) быстро расширяется из-за возросшей потребности в легких, безопасных и сохраняющих конфиденциальность механизмах. Среди различных предлагаемых решений физически неклонируемая функция (a Physical Unclonable Function, PUF), как развивающаяся в последние годы технология, получила значительную популярность, благодаря своей способности предоставлять уникальную аппаратную функцию безопасности для устройств с ограниченными ресурсами.

Определение PUF было впервые предложено Б. Гассендом и др. [1] в качестве кремниевой физической случайной функции в 2002 году примерно в то же время, что и введение оптической PUF авторами работы [2], использующими понятие физической односторонней функции. На физическом уровне реализации термин PUF определяет уникальный идентификатор (отпечаток) физического устройства, который возникает из-за случайных вариаций в производстве микросхем и других компонентов устройства. Эти вариации настолько малы, что их невозможно точно измерить, смоделировать или копировать. Для получения отпечатка к устройству применяется определенный стимул, например, электрический сигнал, и в зависимости от своей уникальной структуры устройство генерирует уникальный ответ [3].

С математической точки зрения, PUF может быть формально определена как физическая система, которая вероятностно отображает стимулирующий запрос c, выбранный из конечного пространства $C= \{0, 1\}^k$, в выходной ответ r в конечном пространстве $R=\{0, 1\}^l$в соответствии со своими внутренними стохастическими свойствами k, индуцированными процессом производства устройства:

$$\mathrm{PUF}_k: C \rightarrow R. \quad (1)$$

Операция генерации отклика $r \in R$ при заданном вызове $c \in C$ также может быть математически выражена как:

$$r \leftarrow \mathrm{PUF}_{\alpha k}(c). \quad (2)$$

где αk представляет собой неупорядоченные физические характеристики PUF экземпляра P $\mathrm{UF}_{\alpha k}$. Ответ на произвольный вызов, не может быть предсказан из пар вызов-ответ (the Challenge-Response Pairs, CRPs) другого экземпляра PUF или из используемых CRP того же экземпляра PUF [3].

Благодаря вышеуказанным свойствам, PUF применяется не только для защиты интеллектуальной собственности (идентификация устройств, защита от подделки и обратного проектирования), но в приложениях безопасности, в частности, PUF предоставляют решения для таких приложений, как генераторы случайных чисел (RNG), метки радиочастотной идентификации (RFID) и аутентификация устройств [4].

Объектом исследований, представленных в настоящей работе, являются процессы аутентификации объектов взаимодействия в системах IIoT с большим количеством разнородных устройств.

1. Обзор литературы

За более 20-летний период развития PUF технологии имеется значительное количество работ, которые фокусируются на применении PUF для создания надежных и недорогих систем аутентификации, Авторы обзорной работы [5] сравнили PUF с традиционными методами генерации и распределения ключей и проанализировали различные подходы к минимизации влияния шумов и атак на PUF. Особое внимание уделяется многофакторным схемам аутентификации, которые интегрируют PUF с другими механизмами безопасности, обеспечивая более высокую надежность и производительность систем [6, 7]. Авторы работы [6] представили двухфакторную схему аутентификации, которая объединяет PUF с информацией на основе местоположения, используя данные индикатора уровня полученного сигнала (received signal strength indicator, RSSI) для проверки близости устройств. Однако их схема страдала от неточностей в измерениях RSSI, что могло привести к ошибочным решениям об аутентификации. В подходе, описанном в [7], были устранены некоторые из этих ограничений, введением нечеткого экстрактора для ответов PUF, что позволило обеспечить более надежное согласование в шумных средах. Тем не менее, схема остается уязвимой для определенных физических атак из-за отсутствия многофакторной интеграции за пределами PUF.

Идея построения многофакторных систем аутентификации на основе использования протоколов безопасности физического уровня (Physical Layer Security, PLS) используется в ряде недавних работ [8-10]. Эти подходы обеспечивают дополнительные уровни безопасности, используя случайности канала связи (шумы, помехи), а также протоколы канального кодирования для генерации сеансовых ключей, тем самым обеспечивая защиту от атак типа «человек посередине» и повторных атак. В статье [9] авторы, рассмотрев проблемы связи в IIoT системах, предложили совместное использование PUF-модели аутентификации и генерацию секретного ключа (secret key generation, SKG) на физическом уровне.

Несмотря на прогресс в схемах на основе PUF, сочетание многофакторной аутентификации с SKG и оценкой близости на основе мобильности, как предложено в [6], представляет собой новое и комплексное решение для безопасности IoT/IIoT. Эта работа уникальным образом объединяет PUF, SKG и обнаружение близости на основе мобильности для создания протокола аутентификации, предлагающего секретность и устойчивость к атакам воспроизведения и подделки.

2. Выбор прототипа

Прототип протокола, описанный в работе [10] играет ключевую роль в разрабатываемом протоколе аутентификации, основанном на многофакторном протоколе безопасности физического уровня, идеально подходящем для сценариев с обменом короткими блоками данных.

Основные причины выбора данного прототипа связаны со следующими его особенностями:

- интеграция с PUF, протокол использует физически неклонируемые функции (PUF) для генерации уникальных идентификаторов, что особенно важно для IIoT-устройств с требованиями к устойчивости против клонирования;
- эффективность для сред с ограниченными ресурсами, так как прототип минимизирует вычислительные затраты, что делает его подходящим для устройств IIoT с низкими ресурсами;
- многофакторная безопасность, протокол сочетает PUF с генерацией ключей (SKG), обеспечивая защиту от повторных атак и атак типа «человек посередине»;
- высокая производительность для обмена небольшими пакетами данных, что особенно актуально для IIoT;
- поддержка формальных инструментов верификации, что позволяет доказать безопасность протокола и подтвердить его математическую обоснованность.

Рассмотрим краткое описание протокола с ключевыми шагами и формулами:

1. Проверка близости: устройства обмениваются пилотными сигналами X_A и X_B, которые квантуются в битовые строки Y_A и Y_B. Устройство A измеряет индикатор уровня полученного сигнала (RSSI) сигналов, полученных от B. Шаг проверки близости гарантирует, что B находится в пределах ожидаемого расстояния:

$$A \equiv Proximity(B). \tag{3}$$

2. Генерация секретного ключа (SKG): если близость проверена, A завершает процесс SKG, генерируя свой синдром S_A и ключ сеанса K_A. Этот ключ используется для безопасной связи:

$$K = f(Y_A). \tag{4}$$

3. Запрос на аутентификацию: A отправляет запрос на аутентификацию, содержащий одноразовый псевдоним AID_i и случайный одноразовый номер N_1:

$$A \rightarrow B: AID_i, N_1. \tag{5}$$

4. Ключ и ответ на запрос: B обращается к своей базе данных, извлекает соответствующие параметры, генерирует новый одноразовый номер N_B и разделяет ключ K_R на две части:

$$K_R = (K_{R1}, K_{R2}). \tag{6}$$

B использует K_{R1} для шифрования вызова и K_{R2} для подписи сообщения:

$$C_B = E_{K_{R1}}(A \vee |B| \vee Ch_2 \vee ¿N_1 \vee ¿N_B). \tag{7}$$

$$T_B = Sign_{K_{R2}}(C_B). \tag{8}$$

Эти значения отправляются к A:

$$B \to A: C_B, T_B. \quad (9)$$

5. Проверка и согласование ключей: A проверяет сообщение C_B и T_B, подтверждая личность и близость B. После успешной проверки устанавливается сеансовый ключ K_A, защищая будущую связь.

Предлагаемый в работе протокол аутентификации является развитием прототипа, предложенного в [10]. Протокол основан на использовании фиксированных битов, которые являются неизменными на протяжении всего времени эксплуатации устройства и создаются на этапе регистрации устройства с использованием PUF. Эти биты передаются серверу и используются для последующих сеансов аутентификации, что исключает возможность их подделки или клонирования.

Этапы аутентификации:

1. Регистрация устройства, когда создаются фиксированные биты, привязанные к уникальным физическим характеристикам устройства через PUF:

$$R = P_A(Ch), \quad (10)$$

где R - ответ, сгенерированный PUF для вызова Ch.

2. Аутентификация, устройство генерирует ответ на запрос сервера, используя фиксированные биты и данные PUF:

$$R_{emerg} = P_A(C_{emerg}), \quad (11)$$

$$R_1 = P_A(Ch_1), \quad (12)$$

$$R_2 = P_A(Ch_2). \quad (13)$$

3. Проверка подлинности, когда сервер сверяет полученные данные с сохраненными значениями и предоставляет доступ устройству.

Для доказательства безопасности в предлагаемом протоколе предлагается использование инструмента Tamarin-prover, который позволяет доказать целостность сообщений и устойчивость к атакам на повтор. Это достигается благодаря уникальности фиксированных битов и физическим характеристикам устройства, которые невозможно воспроизвести или подделать.

Формулы для генерации ключей (фазы Generation и Reproduction, соответственно):

$$Gen(R) = (H_R, K_R), \quad (14)$$

$$Rep(R', H_R) = K_R. \quad (15)$$

3. Проведение эксперимента

На основе предложенного протокола многофакторной аутентификации проведены численные эксперименты.

Экспериментальные исследования проведены в специально подготовленной лабораторной среде, которая имитировала реальные условия эксплуатации периферийных устройств с PUF. Основное оборудование, использованное в эксперименте, включает:

1. Периферийные устройства с PUF: устройства, которые генерируют уникальные идентификаторы на основе их физических характеристик. В данном случае используется RO-PUF.

2. Сервер: обеспечивает аутентификацию и управление данными.

3. Беспроводные сети: устройства подключаются к серверу через Wi-Fi и BLE для обеспечения аутентификации.

4. MATLAB: используется для моделирования и анализа генерации секретного ключа (SKG) на основе характеристик канала связи.

5. Tamarin Prover: применяется для анализа устойчивости аутентификационного протокола к различным атакам, включая Replay, Man-in-the-Middle и DoS.

Входными данными в эксперименте являются:

1. Уникальные идентификаторы, генерируемые с помощью RO-PUF.

2. Параметры беспроводной сети, такие как уровень сигнала (RSSI) и характеристики канала.

3. Параметры SKG: секретные ключи, генерируемые на основе каналов связи.

В таблице 1 приведены входные данные для эксперимента.

Ход выполнения эксперимента:

1. Генерация SKG на основе характеристик канала связи в среде MATLAB.

2. Настройка параметров:

- параметры генерации секретного ключа с использованием LDPC и полярных кодов;
- параметры генерации уникальных идентификаторов на основе PUF.

3. Оценка уровня сигнала (RSSI) для каждого устройства.

Запуск эксперимента:

- запуск скрипта генерации SKG на основе каналов связи;
- сбор данных о производительности и стабильности протокола.

Таблица 1. Таблица исходных данных для эксперимента

Параметр	Описание	Значение
PUF тип	Тип физически неклонируемой функции, используемой в устройстве	Кольцевые осцилляторы (RO-PUF)
Протокол SKG	Используемый протокол генерации секретного ключа	LDPC, полярные коды
Длина блока (n)	Длина кодируемого блока для SKG	512 или 1024 бит
FER	Частота ошибок в кадре при согласовании ключей	10^{-5} (LDPC)
Тип среды	Тип канала связи для измерений	Wi-Fi, BLE
RSSI	Уровень полученного сигнала для оценки близости	-65 dBm (среднее)
Схема аутентификации	Многофакторная аутентификация с PUF и SKG	Протокол
Число устройств	Количество периферийных устройств для эксперимента	10-20
Тип атаки	Тестируемая атака (Replay, Man-in-the-Middle, DoS)	
Число повторений	Количество повторов для каждой тестовой серии	100

На рисунке 1 приведен скрипт генерации SKG на основе каналов связи в среде MATLAB.

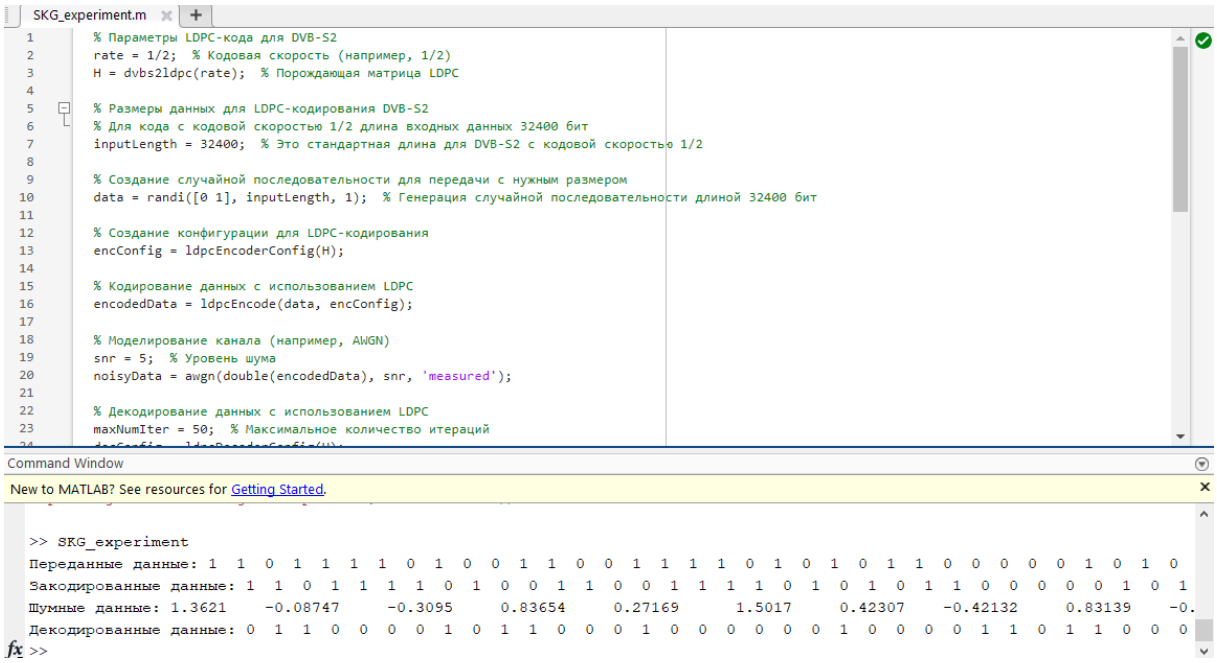


Рис. 1. Скриншот скрипта генерации SKG на основе каналов связи в среде MATLAB

На рисунке 2 приведен скиншот окна редактирования с кодом, сгенерированными SKG, шумными данными RSSI и графиком зависимости частоты ошибок в кадре (FER) от отношения мощности сигнала к мощности шума (SNR).

Анализ в Tamarin Prover состоит в следующем:

1. Загрузка теории протокола: подготовка и загрузка файла теории протокола в Tamarin Prover, чтобы проверить его устойчивость к атакам.

2. Запуск Tamarin Prover и выполнение анализа.

3. Проверка устойчивости: проверка протокола на наличие уязвимостей, таких как атаки воспроизведения и «человек посередине».

4. Сохранение результатов анализа.

На рисунке 3 приведена командная строка загрузки теории протокола в Tamarin Prover.

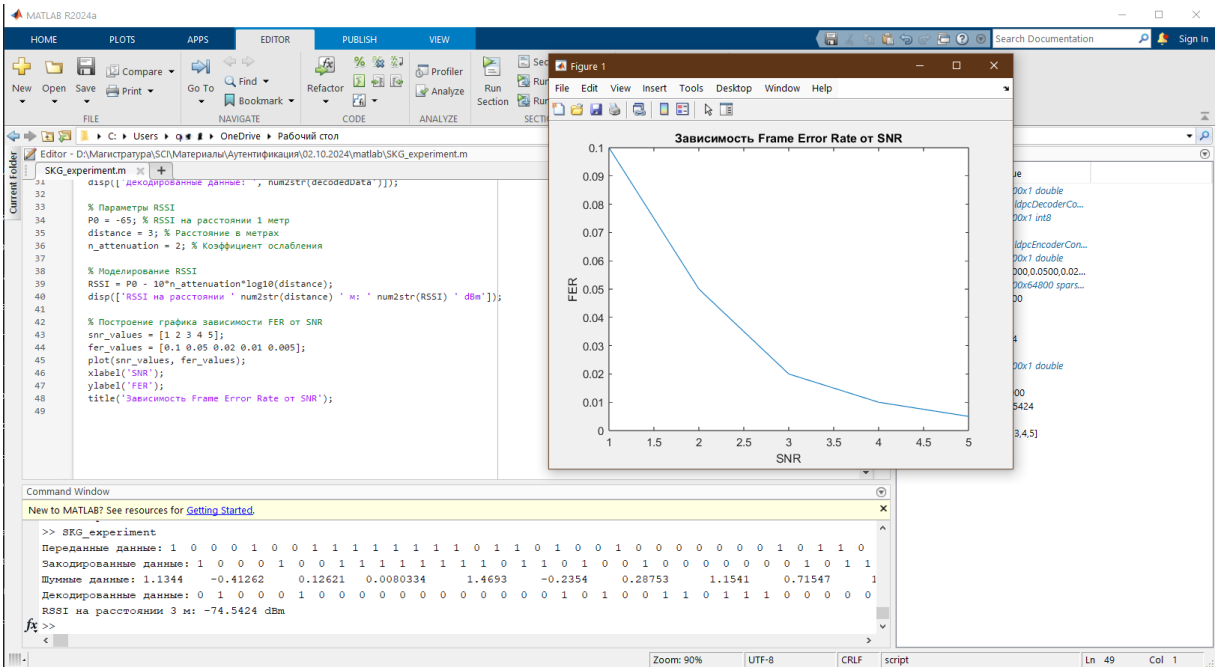


Рис. 2. Запуск эксперимента в MATLAB с выводом результатов

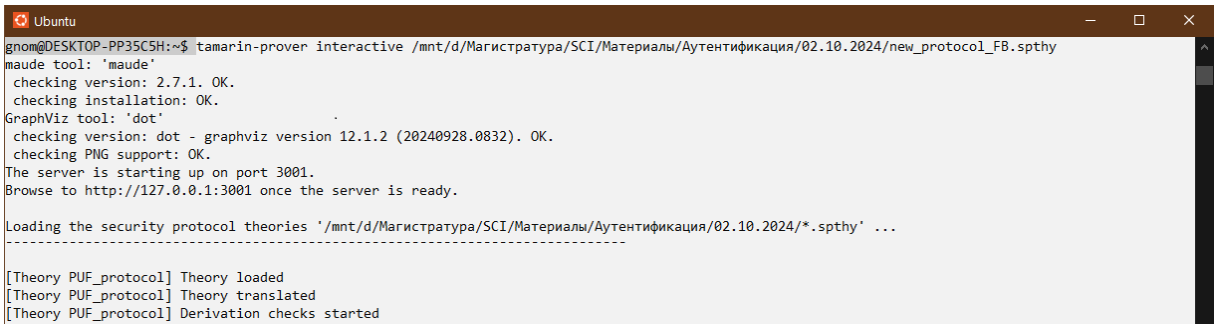


Рис. 3. Загрузка теории протокола в Tamarin Prover

4. Результаты эксперимента

Предлагаемый протокол аутентификации протестирован на группе устройств в лабораторных условиях, которые моделировали реальные сценарии применения в промышленном Интернете вещей (IIoT) [12, 13]. Устройства обменивались пилотными сигналами и измеряли RSSI. Устройство A успешно проверило близость устройства B, используя фиксированные биты для аутентификации. Генерация секретного ключа была выполнена с использованием LDPC кодов, после чего оба устройства успешно прошли процесс аутентификации с низкой частотой ошибок. Результаты тестирования подтвердили его высокую устойчивость к атакам типа воспроизведения и «человек посередине».

Эффективность предложенного протокола оценена по критерию FER. Для сравнения вычислены оценки по критерию FER для аналогов: LDPC [5], полярных кодов [6], кодов BCH [7] и SKG [8]. Эти методы сравнивались с предложенным протоколом по устойчивости к ошибкам, сложности реализации и результатам, полученным на основе экспериментальных данных, подтверждающих надёжность аутентификации при использовании фиксированных битов. На рисунке 4 представлены оценки по критерию FER для разработанного протокола и аналогов. Как видно из рисунка 4 график оценки FER для предложенного в статье протокола находится ниже графиков аналогичных протоколов, что подтверждает его эффективность и применимость в условиях ограниченных ресурсов периферийных устройств IIoT.

В сравнении с предложенным протоколом, основанным на фиксированных битах, который использует предварительно известные позиции битов для аутентификации, полярные коды с списочным декодированием более сложны в реализации, но могут предложить лучшее снижение ошибок.

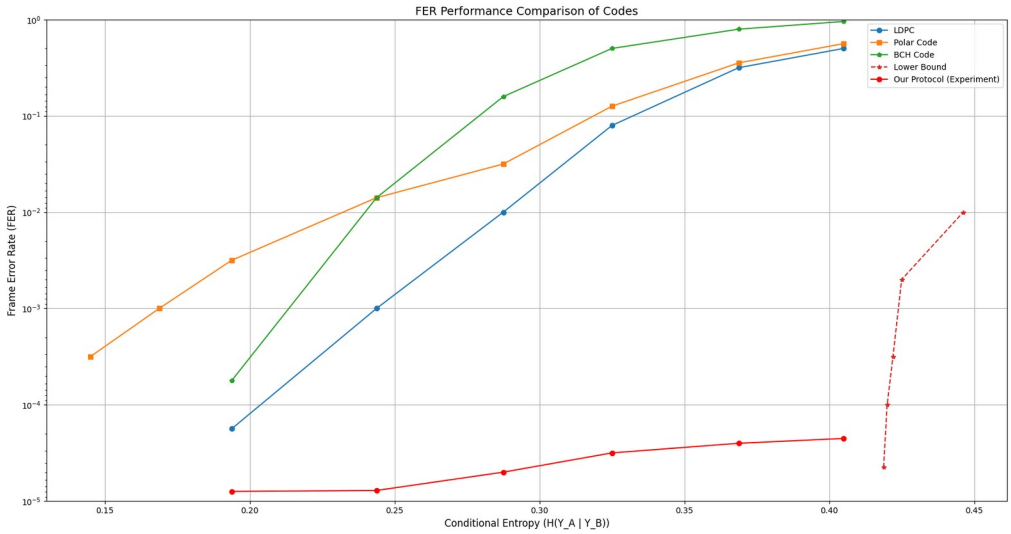


Рис. 4. Сравнение производительности протоколов, где LDPC показан синим цветом, полярные коды - оранжевым цветом, коды BCH - зелёным, разработанный протокол на основе фиксированных битов - красным цветом, линия нижней границы показана пунктирной линией алого цвета

На рисунке 4 представлены кривые производительности различных протоколов: LDPC, полярные коды, коды BCH и предложенный протокол. Как видно, предложенный протокол демонстрирует более низкий показатель FER по сравнению с аналогами при аналогичных значениях энтропии. Это подтверждает его эффективность в условиях ограниченных ресурсов IIoT-устройств, что также было подтверждено на основе реальных экспериментальных данных, где был успешно проведён тест на аутентификацию с использованием фиксированных битов.

Разработанный протокол на основе фиксированных битов выигрывает за счет своей простоты и низких вычислительных затрат, но может уступать по устойчивости к ошибкам, особенно при наличии шума в канале связи.

Основными преимуществами предложенного протокола являются:

- устойчивость к атакам на воспроизведение и «человек по середине»;
- низкие вычислительные затраты, отсутствие сложных криптографических расчетов уменьшает нагрузку на устройство;
- масштабируемость, так как протокол может применяться в системах с большим количеством подключенных устройств без значительного увеличения затрат.

5. Заключение

Таким образом, можно сделать заключение о том, что предложенный протокол аутентификации периферийных устройств с использованием фиксированных битов и PUF предоставляет надежную защиту для IIoT-устройств. Протокол сочетает в себе простоту реализации и высокую устойчивость к атакам, что делает его применимым в промышленных системах с ограниченными ресурсами. В дальнейших исследованиях планируется тестирование протокола в реальных условиях эксплуатации и его интеграция с существующими системами безопасности IIoT.

Благодарность. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК в рамках программно-целевого финансирования BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровни жизни горожан».

Список литературы

1. Gassend, B., Clarke, D., van Dijk, M., & Devadas, S. Silicon physical random functions // Proceedings of the 9th ACM Conference on Computer and Communications Security. – 2002. – С. 148-160.

2. Pappu R., Recht B., Taylor J., Gershenfeld N. Physical one-way functions //Science. – 2002. – V. 297. – №. 5589. – Pp. 2026-2030.

3. Chang C. H., Zheng Y., Zhang L. A retrospective and a look forward: Fifteen years of physical unclonable function advancement //IEEE Circuits and Systems Magazine. – 2017. – V. 17. – №. 3. – Pp. 32-62.

4. Herder, C., Yu, M., Koushanfar, F., & Devadas, S. Physical unclonable functions and applications: A tutorial //Proceedings of the IEEE. – 2014. – V. 102. – №. 8. – Pp. 1126-1141.

5. Mall, P., Amin, R., Das, A. K., Leung, M. T., & Choo, K. K. R. PUF-based authentication and key agreement protocols for IoT, WSNs, and smart grids: A comprehensive survey //IEEE Internet of Things Journal. – 2022. – V. 9. – №. 11. – Pp. 8205-8228.

6. Aman M. N., Basheer M. H., Sikdar B. Two-factor authentication for IoT with location information // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – V. 6. – №. 2. – Pp. 3335-3351.

7. Gope P., Sikdar B. Lightweight and privacy-preserving two-factor authentication scheme for IoT devices // IEEE Internet of Things Journal. – 2018. – V. 6. – №. 1. – Pp. 580-589.

8. Chorti A., Hollanti C., Belfiore J., Poor H. V. Physical layer security: A paradigm shift in data confidentiality // Physical and data-link security techniques for future communication systems. – Cham : Springer International Publishing, 2015. – Pp. 1-15.

9. Mitev M., Chorti A., Reed M., Musavian L. Authenticated Secret Key Generation in Delay-Constrained Wireless Systems. // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2020. – V. 2020. – Pp. 1-29

10. Mitev M., Shekiba-Herfeh M., Chorti A., Reed M. Multi-factor Physical Layer Security Authentication in Short Block length Communication // arXiv preprint arXiv:2010.14457. – 2020.

11. Meier S., Schmidt B., Cremers C., Basin D. The TAMARIN prover for the symbolic analysis of security protocols //Computer Aided Verification: 25th International Conference, CAV 2013, Saint Petersburg, Russia, July 13-19, 2013. Proceedings 25. – Springer Berlin Heidelberg, 2013. – Pp. 696-701.

12. Тебуева Ф.Б., Андреев И.А., Сатыбалдина Д.Ж. Исследование методов аутентификации интеллектуальных агентов при доверенном взаимодействии в промышленном интернете вещей // Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации: Сборник докладов V Всероссийской научной конференции, Ставрополь, 21–22 декабря 2023 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный Университет, 2023. – С. 135-142. – EDN HUJWWC.

13. Петренко В.И., Андреев И.А., Конырханова А.А., Горлачева К.Д. Исследование методов оптимизации процессов аутентификации FPGA устройств в промышленном интернете вещей с использованием SRAM // Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации: Сборник докладов V Всероссийской научной конференции, Ставрополь, 21-22 декабря 2023 года. – Ставрополь: Северо-Кавказский Федеральный Университет, 2023. – С. 143-150. – EDN HUJWWC.

Андреев Илья Андреевич – магистрант совместной программы двойного диплома, ОП 7М06306 – Системы информационной безопасности.
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» (Астана, РК),
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (г. Ставрополь, РФ);
e-mail: andreev.ilia.1984@mail.ru

Тебуева Фариза Беляловна – д-р физ.-мат. наук, профессор факультета математики и компьютерных наук имени профессора Н.И. Червякова.
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» (г. Ставрополь, РФ);
e-mail: fariza.teb@gmail.com

Абдураимова Баян Куандыковна – к.т.н., доцент кафедры информационной безопасности.
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» (Астана, РК);
e-mail: abduraimova_bk@enu.kz

Боранбай Жандос Асылханұлы – магистр, старший преподаватель кафедры информационной безопасности.
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» (Астана, РК);
e-mail: boranbai_zha_3@enu.kz

Сатыбалдина Дина Жагыпаровна – к.ф.-м.н., директор НИИ ИБ и криптологии.
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева» (Астана, РК);
e-mail: satybaldina_dzh@enu.kz

КИБЕРҚАУІПТЕРДІ БОЛЖАУДА ДИНАМИКАЛЫҚ БАЙЕС ЖЕЛІЛЕРІН ҚОЛДАНУ

Р.Е. Сағдатова, Г.З. Зиятбекова
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Аңдатпа*. Мақалада желілік интрузияларды анықтау үшін динамикалық Байес желілерін қолданудың ықтималдық модельдері зерттеледі. Зерттеу барысында интрузияны анықтау жүйелерінің тиімділігін арттыру мақсатында киберқауіптерді нақты уақыт режимінде болжау тәсілдері қарастырылды. Басты назар желілік трафиктегі ерекше үлгілерді анықтап, ықтимал шабуылдарды алдын ала болжауға бағытталған. Сонымен қатар, шабуылдардың алуан түрлерін тану және оларға дер кезінде әрекет ету қабілеті талданды. Мақалада ақпараттық қауіпсіздік стратегияларының аясында динамикалық Байес желілерін интеграциялау және олардың сенімділігін арттыру мүмкіндіктері талқыланады.*

Кілттік сөздер*: Байес желісі, интрузияны анықтау жүйесі, киберқауіптер, шабуыл, болжау.*

Кіріспе

Цифрлық технологиялардың жедел дамуы ақпараттық жүйелердің күрделілігін арттырып, оларға бағытталған киберқауіптерді де ұлғайтты. Әлемдік экономиканы, үкіметтік және коммерциялық ұйымдарды қорғау үшін киберқауіпсіздіктің жаңа тәсілдері қажет. Дәстүрлі әдістердің шектеулері күрделі қауіптерді ерте анықтау мен болжауға кедергі келтіреді. Осындай қиындықтарды еңсеру үшін қазіргі таңда динамикалық Байес желілері (ДБЖ) белсенді түрде қолданылуда.

ДБЖ — уақытқа байланысты өзгеретін ықтималдықтық модельдерге негізделген [1] әдіс. Ол статистикалық мәліметтер мен ықтималдықтарды қолданып, жүйелердегі ықтимал өзгерістерді болжап, қауіп-қатерлердің алдын алуға көмектеседі. Бұл мақалада ДБЖ-нің теориялық негіздерін қарастырып, киберқауіптерді болжау мысалдарына тоқталамыз.

Динамикалық Байес желілері (ДБЖ) – бұл Байес желілерінің уақытаралық кеңейтілген нұсқасы. ДБЖ әрбір уақыт кезеңі үшін белгілі бір жағдайды сипаттайды, және бұрынғы уақыттағы жағдайлар келесі уақыттағы жағдайларға ықпал етеді. Бұл модель уақыт ағынында жүйедегі өзгерістерді есепке алып, оларды ықтималдық тұрғысынан бағалай алады.

1. Тапсырма қою

Киберқауіптерді болжауда динамикалық Байес желісін құру тиімді болғанымен, моделіміз киберқауіптерді оңтайлы анықтап, толыққанды жұмыс жасауы үшін Петри желісін қосып қарастырдық. Себебі динамикалық Байес желілері (ДБЖ) – уақытқа байланысты өзгеретін ықтималдықтық модел [2], яғни белгісіз айнымалылардың өзгерісін бақылауға мүмкіндік береді, ал Петри желілері (ПЖ) – күрделі жүйелердің мінез-құлқын модельдеуге арналған дискреттік оқиғаларды модельдейтін құрал. Бұл мақалада біз ДБЖ және ПЖ-нің үйлесімін пайдалана отырып, киберқауіптерді болжау үшін модель құрамыз.

Байес желісі ықтималдықтар арқылы қауіптің пайда болу ықтималдығын есептейді. Біз ДБЖ-ні уақыт бойы өзгеретін тәуекелдерді қадағалау үшін қолданамыз, ал Петри желісін қауіптің әрекеттенуін және таралуын модельдеу үшін пайдаланамыз [3].

2. Міндеттерді шешу алгоритмі

1. Байес желісін дайындау

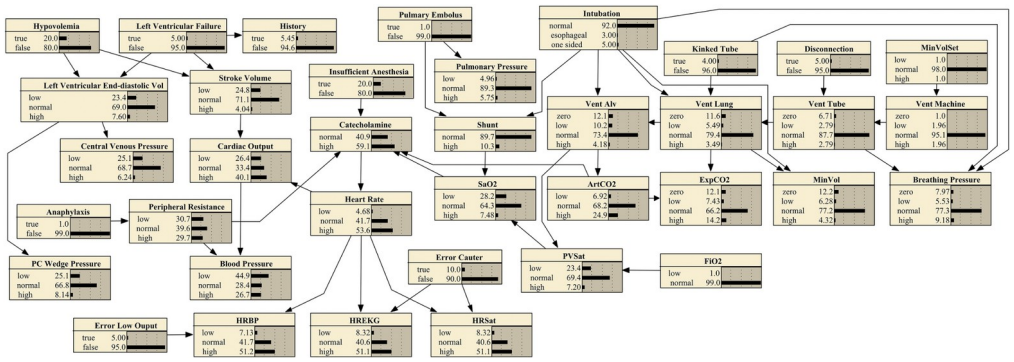
Байес желісін құру формуласы: $$P(A|B) = \frac{P(B|A)\cdot P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

(1) формуласында $P(A|B)$ –В оқиғасы болған жағдайда А оқиғасының болу ықтималдығы, $P(B \mid A)$ –А оқиғасы болған жағдайда В оқиғасының болу ықтималдығы [4] ,
ал $P(A)$ және $P(B)$ –сәйкесінше А және В оқиғаларының ықтималдығы [5].
Бірлескен ықтималдықты есептеу формуласы: $P(X_1, X_2 \ldots, X_n) = \prod_{i=1}^{n} P(X_i|P\alpha(X_i)$ (2)
$X_1, X_2 \ldots, X_n$ - ағымдағы уақыттағы айнымалылар.

Динамикалық Байес желісін құру алгоритмі:

```
from pgmpy.models import DynamicBayesianNetwork as DBN
from pgmpy.factors.discrete import TabularCPD

# DBN үлгісін жасау
dbn = DBN()

# Айнымалылар мен олардың тәуелділіктерін анықтау
dbn.add_edges_from([
   ('Connection', 'DataTransfer'),
   ('DataTransfer', 'AnomalyDetection')
])
# Айнымалылар үшін ықтималдық кестелерін анықтау
cpd_connection = TabularCPD(variable='Connection', variable_card=2, values=[[0.8], [0.2]])
cpd_data_transfer = TabularCPD(variable='DataTransfer', variable_card=2,
                               values=[[0.9, 0.6], [0.1, 0.4]],
                               evidence=['Connection'], evidence_card=[2])
cpd_anomaly_detection = TabularCPD(variable='AnomalyDetection', variable_card=2,
                                   values=[[0.95, 0.8], [0.05, 0.2]],
                                   evidence=['DataTransfer'], evidence_card=[2])

# DBN үлгісіне ықтималдық кестелерін қосу
dbn.add_cpds(cpd_connection, cpd_data_transfer, cpd_anomaly_detection)
```

Түйіндер мен қосылымдар, (2) айнымалылар Байес желісінің құрылымын құрады және құрылымдық спецификация деп аталады. DBN-ды жобалау үшін Netica және Hugin редакторлары қолданылды (Сурет 1). Петри желісі (Сурет 2). өтулерінің нәтижелері Байес желісінің ықтималдықтық болжамдарына ықпал етеді. Мысалы, шабуылдың басталуы Петри желісінде қауіптің жоғары ықтималдығын анықтап, Байес желісі арқылы алдын ала ескерту жасалады.

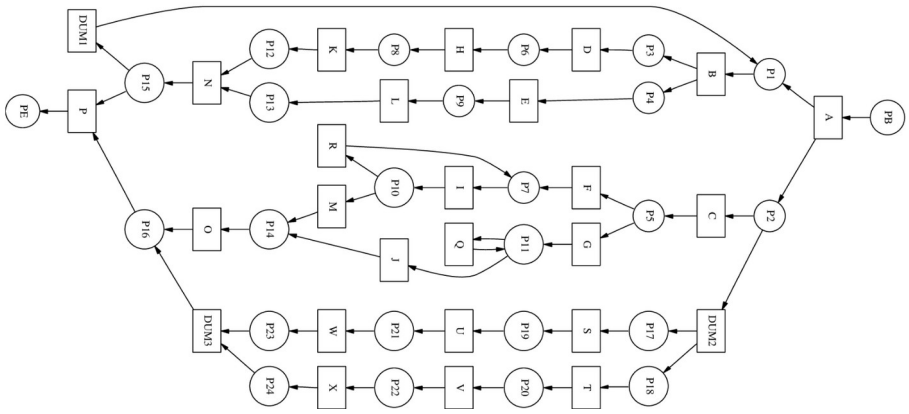


Сурет 1. Байес желісінің мысалы

Тораптар: Киберқауіптердің ықтималдығын анықтайтын айнымалылар.
Доғалар: Себеп-салдар байланыстары.

2. Петри торлы (SP) моделін құру алгоритмі:

```
from PetriNet import PetriNet
sp = PetriNet()

# Орындар мен ауысуларды анықтау
sp.add_place('NormalState')
sp.add_place('AnomalyState')
sp.add_transition('DetectAnomaly')

# Өтпелі матрицаны анықтау
transition_matrix = {
   'DetectAnomaly': {'NormalState': 1, 'AnomalyState': 1}
}
sp.add_transition_matrix(transition_matrix)
```



Сурет 2. Петри желісінің құрылымы

Позициялар: Жүйенің қауіпсіздік жағдайлары.Өтулер: Оқиғалардың жүйе күйіне әсері.

3. Модельдердің біріктірілуі:

Динамикалық Байес желісі мен Петри желісі арасындағы өзара әрекеттесуді ескере отырып келесі формуланы қолданамыз:

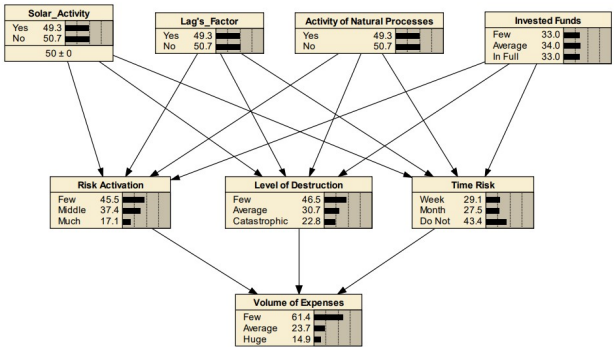
$$Pr\begin{cases} Ds\int Sp(\pi)\begin{cases} V_a: \\ S^0,\dots, \quad S^0,O^0,\dots,O^T \\ Dc: \\ \begin{cases} P(S^0\Lambda\dots\Lambda S^t\Lambda O^0\Lambda\dots\Lambda O^T|\pi) \\ = P(S^0\Lambda O^0)*\prod_{t=1}^{T}[P(S^t|S^{t-1})*P(O^t|S^t)] \end{cases} \\ F: \end{cases} \\ F_0: \\ Qu:\begin{cases} P(S^{t+k}|O^0\Lambda\dots\Lambda\ O^t) \\ (k=0\equiv Filtering) \\ (k>0\equiv Prediction) \\ (k<0\equiv Smoothing) \end{cases}; \end{cases}$$

Динамикалық модель және алдыңғы сәттегі күйді бағалау арқылы фазалық күйді болжайды: $\sum_{S^{t-1}}[P(S^t|S^{t-1})*P(S^{t-1}|O^0\Lambda\dots\Lambda O^{t-1})]$ [6]

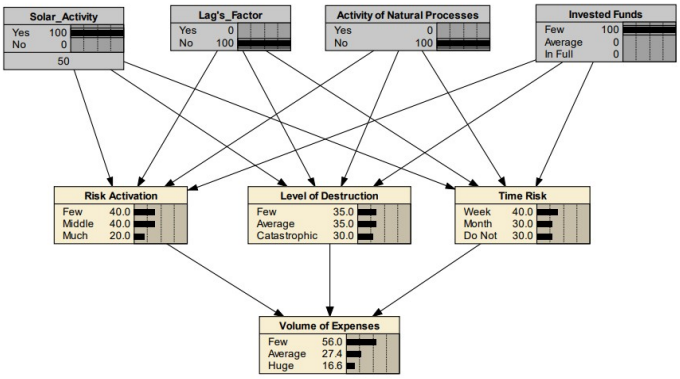
```
# Интеграция мысалы: SP ішіндегі ауысуларды іске қосу үшін DBN ішіндегі күй ақпаратын пайдалану
from pgmpy.inference import DBNInference

# DBN-ден айнымалы күйлерді алу (олар кездейсоқ мәндер болса)
evidence = {'Connection': 1, 'DataTransfer': 1}

# DBN-ге қорытынды жасау үшін DBNInference нысанын алу
dbn_inference = DBNInference(dbn)

# Күй ықтималдықтарын алу үшін қорытынды жасау
query_variables = ['Connection', 'DataTransfer', 'AnomalyDetection']
result = dbn_inference.query(evidence=evidence, variables=query_variables)

# Нәтижені SP-де ауысуларды белсендіру үшін пайдалану
if result['AnomalyDetection'][1] > 0.5:
#Егер аномалияны анықтау ықтималдығы шекті мәннен жоғары болса
sp.fire_transition('DetectAnomaly')
```

3. Сандық есептеулер

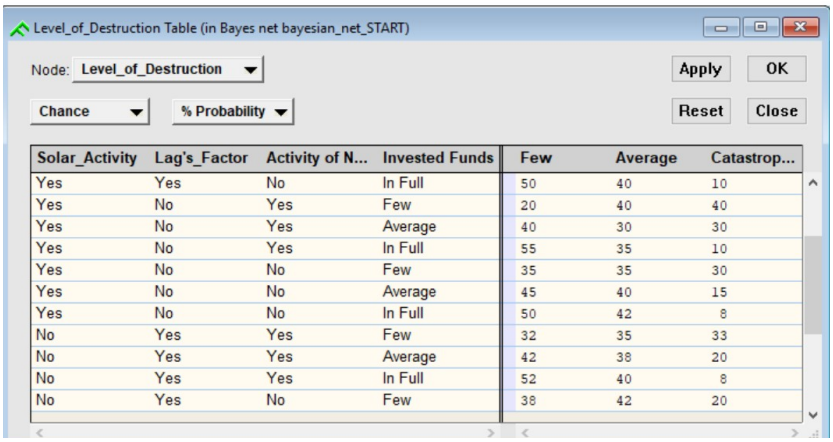
Келесі 3-5 суреттерде интрузияны анықтау мәндері Netice бағдарламасының нәтижелері жүйесі түрінде ұсынылған:



Сурет 3. Модельдеу және болжау



Сурет 4. Сенімді оқыту желісін әзірлеу



Solar_Activity	Lag's_Factor	Activity of N...	Invested Funds	Few	Average	Catastrop...
Yes	Yes	No	In Full	50	40	10
Yes	No	Yes	Few	20	40	40
Yes	No	Yes	Average	40	30	30
Yes	No	Yes	In Full	55	35	10
Yes	No	No	Few	35	35	30
Yes	No	No	Average	45	40	15
Yes	No	No	In Full	50	42	8
No	Yes	Yes	Few	32	35	33
No	Yes	Yes	Average	42	38	20
No	Yes	Yes	In Full	52	40	8
No	Yes	No	Few	38	42	20

Сурет 5. Алғашқы өңдеу кезінде шыққан қорытындылар

Осылайша, интрузияны анықтауға арналған ықтималды динамикалық Байес желісі жүйе қауіпсіздігі саласындағы түрлі мәселелерге сәтті қолдануға болатын қолайлы тәсіл екені анықталды.

4. Қорытынды

Бұл зерттеу динамикалық Байес желілері мен Петри желілерін біріктіре отырып, киберқауіптерді болжаудың жаңа әдісін ұсынды. Модельдің басты артықшылығы – жүйенің ықтимал қауіп-қатерлерін тек қана болжау емес, сонымен қатар олардың таралу динамикасын анықтау мүмкіндігі [7] . Байес желісі қауіптің ықтималдығын есептеуде тиімді болса, Петри желісі нақты оқиғалардың жүру процесін нақты модельдеуге мүмкіндік береді. Екі әдістің үйлесімділігі киберқауіптерге қарсы алдын алу шараларын уақытылы қолдану үшін дәл болжамдар жасауға жол ашады.

Қорытындылай келе, теориялық зерттеуде динамикалық Байес желісі киберқауіпсіздік саласындағы рұқсатсыз енуді анықтаудың оңтайлы құралы ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Дегенмен, зерттеушілер мен инженерлер желіге енуді анықтау үшін DBN қолданатын әртүрлі әдістер мен модельдерді әзірлеуде. Қарастырылған модельдер киберқауіпсіздік жүйелерінде енуді анықтау және ықтимал қауіптерді азайту қабілетін көрсетеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Токтасынова Н., Сулейменов Б., Болеева Л. Современное состояние методов синтеза систем управления точкой спека при агломерационном обжиге // Вестник КазНИТУ. – 2018. – №5. – С. 134-137.
2. Mitterlehner J., Loeffler G., Winter F., Hofbauer H., Schmid H., Zwittag E., Buergler T. H., Pammer O. and Stiasny H. Modeling and Simulation of Heat Front Propagation in the Iron Ore Sintering Process // ISIJ International. – 2014. – Vol. 44, №.1 – P. 11-20.
3. Азнабаев Д.А. Совершенствование теории твердофазных химических реакций и интенсификация процесса агломерации: ил РГБ ОД 61:85-5/4899: http://www.dslib.net/cvetn-metallurgia/sovershenstvovanie-teorii-tverdofaznyhhimicheskih-reakcij-i-intensifikacija.html
4. Hansen J. F. Nusselt, Rayleigh, Grashof, And Prandtl: Direct Calculation of A Userdefined Convective Heat Flux // Excerpt from the Proceedings of the 2015 COMSOL Conference in Grenoble. – 2015 – P. 1-5: https://www.comsol.com/paper/download/291661/hansen_paper.pdf.
5. Du S., Wu M., Chen X., Lai X., Cao W. Intelligent Coordinating control between burn-through point and mixture bunker level in an iron ore sintering process // Journal of advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics. – 2017. – Vol. 21, №1 – P.139-147
6. Vu J. Modelling of Convective Heat Transfer in Porous Media: Electronic Thesis and Dissertation Repository. 4852. – 2017: https://ir.lib.uwo.ca/etd/4852.
7. Zhou H., Zhao J. P., Loo C. E., Ellis B. G., Cen K. F. Numerical Modeling of the Iron Ore Sintering Process // ISIJ International. – 2015. – Vol. 52, №9. – P.1550– 1558

Сағдатова Рысгүл Ержанқызы – әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің магистранты; Алматы, Қазақстан; rsagdatova@gmail.com, 87088201159

Зиятбекова Гулзат Зиятбеккызы – PhD, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің доцент м.а.; Алматы, Қазақстан; ziyatbekova@mail.ru

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ МНОГОВЕКТОРНЫХ АТАК НА УСТРОЙСТВА ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Носиков Д.Э, Огур М.Г, Абдураимова Б.К, Тебуева Ф.Б, Сатыбалдина Д.Ж.
e-mail: dimanosicov@mail.ru, ogur26@gmail.com, abduraimova_bk@enu.kz, fariza.teb@gmail.com, satybaldina_dzh@enu.kz
НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Республика Казахстан
ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», Российская Федерация

***Аннотация**. В статье предложен метод обнаружения многовекторных атак на устройства Интернета вещей с использованием алгоритмов машинного обучения. Проведен анализ существующих методов обнаружения атак, таких как сигнатурные методы, методы на основе аномалий, контролируемые и неконтролируемые методы машинного обучения, а также методы глубокого обучения, включая сверточные и рекуррентные нейронные сети. Предлагаемый метод сочетает глубокое обучение и федеративное обучение, что позволяет повысить точность, масштабируемость и безопасность системы в условиях ограниченных ресурсов IoT-устройств. Представлены результаты экспериментального исследования, подтверждающие превосходство предложенного метода по сравнению с существующими решениями.*

***Ключевые слова**: устройства Интернета вещей, вредоносное ПО, многовекторные атаки, федеративное обучение, автоэнкодер, метрики.*

Введение

Низкий уровень информационной безопасности в устройствах Интернета-вещей (IoT) приводит к тому, что большое количество IoT устройств компрометируются угрозами как внутри, так и за пределами целостной инфраструктуры IoT. Атаки на данную инфраструктуру приводят к взлому устройств, краже данных, финансовым потерям, нестабильности или даже физическому повреждению устройств. Это требует разработки новых подходов для обеспечения высокого уровня безопасности в инфраструктуре IoT. Однако схема атаки сейчас эволюционировала и включает в себя многоверкторность. Многовекторная атака на IoT устройство - это тип атаки, при которой злоумышленник использует несколько уязвимостей в различных слоях архитектуры IoT-системы для достижения своих целей. Она представляет собой сложную форму кибератаки, которая может быть выполнена при помощи одного или нескольких типов атак, таких как атака по сетевому протоколу, атака внедрения вредоносного ПО (malware) и атака на физическую безопасность устройств. Такие атаки могут привести к серьезным последствиям для целостности, конфиденциальности и доступности данных, хранящихся и обрабатываемых в IoT системе.

1. Анализ существующих методов

Ранее злоумышленники инициировали один тип атаки, такой как UDP-атака, ICMP-атака или атака HTTP GET. Однако с течением времени атаки на IoT устройства стали более сложными и сочетают в себе нескольких атак, которые используются для обхода защиты, развернутой на защищаемом ресурсе. Среди всех задокументированных атак на IoT, одновекторные атаки и многовекторные атаки распределяются в соотношении 65,7% и 34,3% с дальнейшим изменением в сторону многовекторности, учитывая факторы увеличения на 27% количества выпускаемых бюллетеней безопасности в среднем по

продуктам сферы IoT [1]. Поэтому обнаружение многовекторных атак на IoT устройства является важной задачей для обеспечения безопасности в этой области [2].

Большинство исследований на эту тему включают в себя разработку новых методов и алгоритмов для обнаружения и противодействия многовекторным атакам на группы IoT устройств. В качестве примеров можно привести работы, в которых используются методы машинного обучения, искусственного интеллекта, анализа данных и другие подходы.

Анализ методов обучения алгоритмов обнаружения атак на IoT системы показал недостаток точности при обнаружении многовекторных атак, что может быть улучшено при помощи разработки комплексного метода на основе комбинации методов машинного обучения, децентрализации и федерации данных. Один из возможных подходов – это создание нескольких локальных моделей машинного обучения на различных устройствах IoT системы, которые затем будут объединены в общую модель на основе методов федеративного обучения (FL). Эта модель может использоваться для обнаружения многовекторных атак на устройствах IoT системы [3]. Другой подход заключается в использовании децентрализованных вычислительных средств, таких как блокчейн, для объединения данных из различных устройств IoT системы. Это может позволить создать единую модель машинного обучения, которая будет обучаться на общих данных из всех устройств IoT системы и будет использоваться для обнаружения многовекторных атак [4].

Для разрабатываемого метода обнаружения многовекторных атак системы IoT выбраны аналоги:

1. Алгоритм обнаружения угроз GA-mADAM-IIoT с использованием долгой краткосрочной памяти LSTM [5]. Метод успешно справляется с временными зависимостями и масштабируемостью, что делает его особенно полезным для применения в динамичных промышленных системах с ограниченными ресурсами.
2. Метод обнаружения атак типа Interest Flooding Attack [6], хорошо адаптированный к реальным условиям работы сетей NDN, что делает его оптимальным для защиты от атак на исчерпание ресурсов в высоконагруженных сетях.
3. Система обнаружения вторжений на основе FL и DL [7], позволяющая эффективно обрабатывать большие объемы данных с минимальными ложноположительными срабатываниями, делая метод оптимальным для распределенных IoT-систем.

Алгоритм обнаружения угроз GA-mADAM-IIoT с использованием долгой краткосрочной памяти LSTM состоит из модели обнаружения угроз GA-mADAM-IIoT, модифицированного оптимизатора Adam (mADAM), генетического алгоритма (GA) для отбора признаков.

Основу модели обнаружения угроз GA-mADAM-IIoT составляет нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью (LSTM), которая позволяет решать проблему "затухающего градиента", характерную для работы с длинными временными зависимостями. Основные вычисления в LSTM происходят через ворота состояний:

Ворота состояния f_t:

$$f_t = \sigma\left(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f\right), \tag{1}$$

где σ – сигмоидная функция активации, W_f – весовые матрицы, h_{t-1} – скрытое состояние предыдущего шага, x_t – входные данные текущего шага; b_f – вектор смещений, добавляемый к взвешенной сумме.

Ворота входа i_t и обновление состояния памяти C_t:

$$i_t = \sigma\left(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i\right), \tag{2}$$

$$C_t = f_t \cdot C_{t-1} + i_t \cdot \tanh\left(W_C \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_C\right),$$

(3)

где C_{t-1} – состояние памяти на предыдущем шаге, а C_t – текущее состояние памяти.

Ворота выхода o_t и скрытое состояние h_t:

$$o_t = \sigma\left(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o\right),\ h_t = o_t \cdot \tanh\left(C_t\right),$$

(4)

где h_t используется для предсказания на текущем шаге.

Модифицированный оптимизатор Adam необходим для динамического изменения скорости обучения для ускорения сходимости и повышения точности. Скорость обучения изменяется следующим образом:

$$\hat{\alpha}_t = \frac{\alpha}{\sqrt{s_t} + \epsilon},$$

(5)

где s_t – дисперсия градиентов, а ϵ – малое число для предотвращения деления на ноль.

Генетический алгоритм (GA) для отбора признаков используется для отбора наиболее значимых признаков из данных.

Основной процесс GA состоит из:

- инициализации популяции: множество случайных наборов признаков;
- скрещивания: две особи создают новую с набором признаков:
-

$$p_{new} = \alpha\, p_i + (1-\alpha)\, p_j,$$

(6)

где α – случайное число, p_i и p_j – родители;

- мутации: случайное изменение признаков для поиска оптимального решения.

Механизм внимания используется для выделения ключевых моментов в данных. Весовые коэффициенты внимания α_t вычисляются через softmax:

$$\alpha_t = softmax\left(q_t \cdot k_t^T\right),$$

(7)

где q_t – вектор запроса, k_t – вектор ключей. Итоговый контекстный вектор вычисляется как взвешенная сумма:

$$c_t = \sum_{i=1}^{T} \alpha_t \cdot v_t,$$

(8)

что позволяет модели фокусироваться на наиболее значимых временных шагах.

Метод обнаружения атак типа Interest Flooding Attack основан на статистическом сравнении распределений сетевого трафика в нормальных условиях и при наличии атак, с использованием расстояния Хеллингера. Подход реализует схему обнаружения аномалий, состоящую из двух этапов: обучения и тестирования.

На этапе обучения формируется профиль нормального сетевого трафика NDN-сети. Для этого фиксируется количество определённых сетевых событий в интервалах времени ΔT. Отслеживаемые виды событий включают:

- входящие запросы InInterest;
- исходящие запросы OutInterest;
- входящие пакеты данных InData;
- исходящие пакеты данных OutData;

- входящие NACK-пакеты (ответы, указывающие на недоступность запрашиваемого контента) InNack;
- исходящие NACK-пакеты OutNack.

Профиль трафика создается как вероятность распределения этих событий в каждом временном интервале ΔT. Вероятность $P(e_i)$ каждого события рассчитывается как отношение числа возникновения события e_i к общему числу событий в данном интервале:

$$P(e_i) = \frac{Количество\ событий\ e_i}{Общее\ количество\ событий}. \quad (9)$$

Полученные значения формируют вектор нормального профиля $A = [P(e_1), P(e_2), \ldots, P(e_n)]$.

На этапе тестирования аналогичным образом собираются данные о текущем сетевом трафике и создается профиль текущего трафика B. Для обнаружения аномалий профиль тестируемого трафика B сравнивается с профилем нормального трафика A с помощью расстояния Хеллингера:

$$D_H(A, B) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_i \left(\sqrt{P_A(e_i)} - \sqrt{P_B(e_i)}\right)^2}, \quad (10)$$

где $P_A(e_i)$ и $P_B(e_i)$ – вероятности события e_i в нормальном и тестируемом профилях соответственно.

Превышение расстоянием Хеллингера установленного порога указывает на аномалию, свидетельствующую о возможной атаке IFA.

Система обнаружения вторжений на основе FL и DL комбинирует неконтролируемое обучение с использованием автоэнкодеров (AE) для обнаружения аномалий и контролируемое обучение с применением глубоких нейронных сетей (DNN) для классификации атак.

Федеративное обучение позволяет множеству IoT-устройств совместно обучать модели, при этом данные остаются локально на устройствах, исключая необходимость их передачи на центральный сервер. Процесс включает обучение локальных моделей на каждом устройстве и периодическое обновление глобальной модели посредством взвешенного усреднения параметров. Алгоритм агрегации, основанный на методе Federated Averaging (FedAvg), функционирует следующим образом:

$$w_{global} = \sum_{i=1}^{N} \frac{n_i}{n_{total}} w_i, \quad (11)$$

где w_{global} – глобальная модель, w_i – локальные модели, обученные на устройствах, n_i – количество данных на устройстве i, N – общее количество устройств, а n_{total} – общее количество данных. Такой подход сохраняет конфиденциальность, поскольку данные остаются на устройствах.

Автоэнкодер для обнаружения аномалий является основной неконтролируемой моделью для обнаружения аномалий в сетевом трафике. Он обучается на нормальных данных, пытаясь воспроизвести их с минимальной ошибкой. Если при подаче новых данных ошибка реконструкции превышает определённый порог, такие данные считаются аномальными.

Модель автоэнкодера состоит из двух частей:

1) энкодер, который позволяет сжимать входные данные в кодовое представление;
2) декодер для восстановления данных из кодового представления.

Ошибка реконструкции рассчитывается как:

$$L(x,\hat{x}) = \| x - \hat{x} \|^2, \tag{12}$$

где x – входные данные, а $\hat{x}$ – реконструированные декодером данные. Если $L(x,\hat{x})$ больше заданного порога, данные считаются аномальными.

После обнаружения аномалии автоэнкодером модель глубокого обучения (DNN) используется для классификации типа атаки. DNN состоит из нескольких линейных слоев, на каждом из которых выполняется линейное преобразование данных:

$$z^{(l+1)} = W^{(l)} z^{(l)} + b^{(l)}, \tag{13}$$

где $z^{(l)}$ – выход предыдущего слоя, $W^{(l)}$ и $b^{(l)}$ – веса и смещения слоя, а l – номер слоя. Для нелинейной активации используется функция ReLU:

$$ReLU(x) = max(0,x). \tag{14}$$

Для уменьшения вероятности переобучения применяется слой Dropout, который случайным образом «отключает» нейроны:

$$z^{(l)}_{dropout} = z^{(l)} \cdot Bernoulli(p), \tag{15}$$

где p – вероятность отключения нейрона.

Для оптимизации модели используется стохастический градиентный спуск (SGD) или адаптивный оптимизатор Adam, которые обновляют параметры сети на основе градиентов функции ошибки:

$$\theta_{t+1} = \theta_t - \eta \cdot \nabla_\theta J(\theta_t), \tag{16}$$

где θ_t – параметры модели на итерации t, η – скорость обучения, $\nabla_\theta J(\theta_t)$ – градиент функции ошибки.

2. Предлагаемый метод

Предлагаемый метод обнаружения многовекторных атак на устройства IoT

В работе [8] представлена математическая модель реализации многовекторных атак на IoT-системы на основе анализа потока сетевого трафика. В предлагаемом методе обнаружения многовекторных атак на устройства IoT по сравнению с аналогами GA-mADAM-IIoT и FL-IDS основное улучшение предполагается в повышении уровня масштабируемости и эффективности использования ресурсов. Применение GA для отбора признаков снижает нагрузку на процессоры устройств IoT, а механизм внимания помогает улучшить анализ временных рядов. При этом метод обеспечивает конфиденциальность данных благодаря использованию федеративного обучения, что минимизирует риски утечек данных и делает систему более адаптивной к различным типам атак и изменениям в сети.

Предлагаемый метод сочетает FL, DNN, автоэнкодеры для обнаружения аномалий и G A для оптимизации признаков.

1. Федеративное обучение, позволяющее устройствам IoT обучать локальные модели на своих данных без необходимости передачи их на центральный сервер, обновление глобальной модели w_{global} путём агрегации локальных моделей, обученных на устройствах IoT, осуществляется по формуле (11), где w_{global} – глобальная модель, w_i – локальная модель на устройстве i, n_i – количество данных на устройстве i, N – количество устройств, $n_{total} = \sum_{i=1}^{N} n_i$ – общее количество данных.

2. Автоэнкодер для выявления аномалий для неконтролируемого обучения, задачей которого является свертка входных данных в скрытое представление и затем восстановление их с минимальной ошибкой реконструкции. Функция ошибки реконструкции L_{AE} измеряется как разница между входом x и реконструированным выходом $\hat{x}$ вычисляется по формуле (12).

Модель автоэнкодера состоит из двух частей: энкодер и декодер.

Энкодер сжимает входные данные x в скрытое представление z:

$$z = f_{encoder}(x), \tag{17}$$

где $f_{encoder}$ – функция энкодера.

Декодер: восстанавливает данные из скрытого представления:

$$\hat{x} = f_{decoder}(z), \tag{18}$$

где $f_{decoder}$ – функция декодера.

Если ошибка реконструкции превышает заданный порог, то данные считаются аномальными. Порог может быть задан в виде ϵ, и данные признаются аномальными, если:

$$L_{AE}(x, \hat{x}) > \epsilon. \tag{19}$$

3. Глубокая нейронная сеть для классификации атак состоит из нескольких линейных слоев, каждый из которых применяет линейное преобразование к данным и использует функцию активации для создания нелинейности. На каждом слое выполняется следующее преобразование (13), где $z^{(l)}$ – выход на слое l, $W^{(l)}$ – матрица весов слоя l, $b^{(l)}$ – вектор смещений слоя l. Для создания нелинейности используется функция активации ReLU (14). Для предотвращения переобучения применяется слой Dropout, который случайным образом "отключает" нейроны с вероятностью p (15), где $Bernoulli(p)$ – случайная величина, принимающая значение 0 или 1 с вероятностью p.

4. Генетический алгоритм для оптимизации признаков имитирует эволюционные процессы, такие как отбор, скрещивание и мутация. Инициализация популяции: сначала

создаётся начальная популяция случайных наборов признаков $P=\{p_1, p_2, \ldots, p_N\}$, где N – количество наборов признаков. Для каждого набора признаков вычисляется функция приспособленности $F(p_i)$, которая измеряет, насколько хорошо данный набор признаков способствует классификации атак. Для создания нового набора признаков из двух родителей p_i и p_j применяется операция скрещивания (6),где α – случайное число из диапазона $[0,1]$. Генетический алгоритм продолжает итерации до тех пор, пока не достигается оптимальный набор признаков или не будет достигнут критерий остановки.

5. Для выделения наиболее значимых временных шагов во временных рядах используется механизм внимания, весовые коэффициенты которого через softmax $\alpha_t = \frac{\exp\left(q_t \cdot k_t^T\right)}{\sum_{i=1}^{T} \exp\left(q_i \cdot k_i^T\right)}$, где q_t – вектор запроса, k_t – вектор ключей.

Итоговый контекстный вектор c_t вычисляется как взвешенная сумма значений $c_t = \sum_{i=1}^{T} \alpha_t \cdot v_t$, где v_t – вектор значений на шаге t.

В итоге предлагаемый метод сочетает:

1) локальное обучение на устройствах IoT с помощью федеративного обучения;
2) автоэнкодеры для выявления аномалий в трафике;
3) глубокую нейронную сеть для классификации аномалий;
4) GA для оптимизации признаков;
5) механизм внимания для выделения ключевых временных шагов в данных.

Этот подход обеспечивает высокую точность обнаружения атак, эффективную работу с большими объемами данных и адаптацию к изменениям в сети IoT.

Масштабируемость разработанного метода заключается в его способности эффективно адаптироваться к увеличению объёма данных и числу устройств в IoT-сетях без значительного увеличения вычислительных затрат. Применение гибридной архитектуры CNN+LSTM/GRU позволяет обрабатывать как пространственные, так и временные зависимости в данных, что важно для сетей с растущим трафиком.

Для проведения практической реализации предложенного метода экспериментальная среда была развернута в облачной инфраструктуре с использованием симуляции IoT-устройств для тестирования на реальных данных. Для тестирования предложенной системы использовались виртуализированные устройства IoT, на которых развертывались автоэнкодеры и нейронные сети для локального обнаружения угроз.

Процесс обучения и синхронизации состоит из 5 этапов: 1) инициализация локальных моделей: каждый узел IoT инициализировал автоэнкодеры и глубокие нейронные сети на своих данных, 2) агрегация на сервере: центральный сервер собирал параметры локальных моделей и проводил их агрегацию с использованием алгоритма Federated Averaging, полученная глобальная модель затем отправлялась обратно на устройства IoT для дальнейшего обучения; 3) обнаружение аномалий и классификация: локально на каждом устройстве автоэнкодеры использовались для мониторинга трафика, 4) оптимизация признаков: GA использовался для отбора наиболее значимых признаков, что снижало вычислительную нагрузку и увеличивало точность классификации атак; 5) обновление

моделей: после каждого цикла обучения локальные модели обновлялись, и процесс повторялся.

Для синтеза результатов эксперимента с использованием актуального датасета CIC IoT Dataset 2023 [9], включающего сетевые данные, собранные с IoT-устройств, с нормальными и аномальными действиями. В набор данных входят сценарии DDoS, Brute Force, SQL-инъекций и других атак, направленных на устройства IoT.

Для сравнения эффективности обнаружения многовекторных атак в IoT используются стандартные метрики:

1) точность, вычисляемая по формуле $\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}$;

2) полнота, вычисляемая по формуле $\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$;

3) F1-мера, вычисляемая по формуле $F1 = 2 \cdot \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$;

4) время выполнения и использование памяти, вычисляемые по формулам $T_{\text{execution}} = \text{time}(f(\text{data}))$ и $M_{\text{usage}} = W_{\text{size}} + b_{\text{size}}$;

5) кривая ROC, вычисляемая по формулам $TPR = \frac{TP}{TP + FN}$ и $FPR = \frac{FP}{FP + TN}$.

Указанных выше метриках содержат обозначения:

- TP – истинно положительные срабатывания;
- TN – истинно отрицательные срабатывания;
- $T_{\text{execution}}$ – время обнаружения;
- M_{usage} – использование памяти устройства;
- W_{size} – размер базы атак;
- b_{size} – размер анализируемого блока;
- FP – ложно положительные срабатывания;
- FPR – частота ложно положительных срабатываний.

Вычисленные метрики для методов-аналогов и предложенного метода в таблице 1.

Разработанный метод показал высокую эффективность по сравнению с существующими методами обнаружения многовекторных атак в IoT-сетях. Он продемонстрировал высокую точность (98.7%), полноту (98.45%) и F1-меру (98.72%), что подтверждает его способность эффективно выявлять атаки с минимальными ошибками (рис. 1).

Таблица 1. Обобщенные метрики для сравнения разработанного метода

Метод	Точность (%)	Полнота (%)	F1-мера (%)	Время выполнения (сек)	Использование памяти (MB)	ROC-кривая
GA-mADAM-IIoT	98.6	98.4	98.5	13	210	0.97
IFA Detection	97.1	97.0	97.2	15	230	0.94

Federated Learning IDS	96.9	96.6	96.8	16	260	0.95
Предлагаемый метод		98.45		11	190	0.99

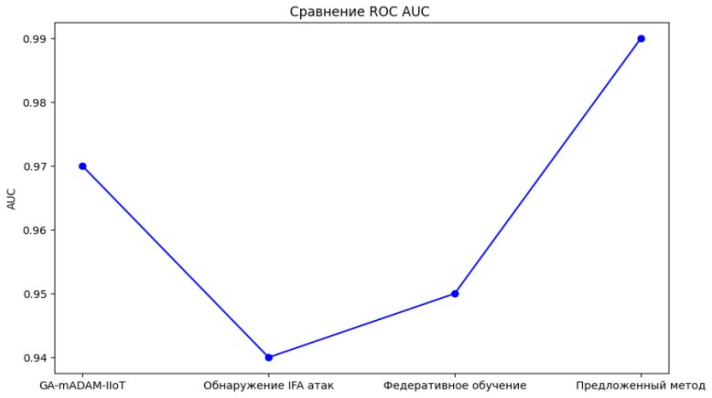


Рисунок 1 – ROC-кривая предложенного метода

3. Заключение

Метод отличается высокой производительностью (11 секунд) и низким использованием памяти (190 MB), что делает его пригодным для маломощных IoT-устройств. Кроме того, разработанный показал универсальность, достигнув точности до 99.9% при обнаружении различных типов атак, таких как DDoS и Brute Force, и продемонстрировал высокий показатель AUC (0.99), что указывает на его надёжность в различении атакующего и нормального трафика. В таблицах 2, 3 приведены сравнение производительности по различным типам атак (датасет CIC IoT Dataset 2023) и F1-мера поднаборов данных

Тип атаки	GA-mADAM-IIoT (%)	IFA Detection (%)	Federated Learning IDS (%)	Proposed Method (%)
DDoS	98.6	97.3	96.9	99.9
Brute Force	98.5	97.1	96.7	99.8
SQL-инъекции	98.7	97.5	96.6	99.9
Port Scanning	98.3	97.0	96.5	99.9
XSS	98.5	97.2	96.8	99.9

Таблица 2. Сравнение производительности по различным типам атак (CIC IoT Dataset 2023)
Точность поднаборов данных

Тип атаки	GA-mADAM-IIoT (%)	IFA Detection (%)	Federated Learning IDS (%)	Proposed Method (%)
DDoS	98.5	97.3	96.9	99.9
Brute Force	98.6	97.1	96.8	99.9
SQL-инъекции	98.7	97.5	96.6	99.9
Port Scanning	98.4	97.0	96.6	99.9
XSS	98.6	97.2	96.8	99.9

Таблица 3. F1-мера поднаборов данных

Разработанный метод продемонстрировал существенные улучшения по сравнению с существующими методами обнаружения многовекторных атак в IoT-сетях. Ключевые улучшения связаны с повышением точности и полноты предсказаний, что позволило снизить количество ложных срабатываний и повысить эффективность обнаружения атак. Применение гибридной архитектуры нейронных сетей обеспечило точный анализ как пространственных, так и временных зависимостей в сетевом трафике, что особенно важно для многовекторных атак.

Благодарность. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МНВО РК в рамках программно-целевого финансирования BR24992852 «Разработка интеллектуальных моделей и методов цифровой экосистемы Smart City для устойчивого развития города и повышения качества уровни жизни горожан».

Список литературы

1. Salim, M.M., Rathore, S. & Park, J.H. Distributed denial of service attacks and its defenses in IoT: a survey. J Supercomput 76, 5320–5363 (2022). https://doi.org/10.1007/s11227-019-02945-z

2. Аль-Джабир А. и др. Аномалия обнаружения в системах IoT на основе анализа многовекторных атак // IEEE Access, том 9, 2021, с. 65331-65342.

3. Ahmed M., Mahmood A. N., Hu J. A survey of network anomaly detection techniques // Journal of Network and Computer Applications. – 2021. – Vol. 60. – P. 19-31.

4. Tinshu Sasi, Arash Habibi Lashkari, Rongxing Lu, Pulei Xiong, Shahrear Iqbal. An Efficient Self Attention-Based 1D-CNN-LSTM Network for IoT Attack Detection and Identification Using Network Traffic // Journal of Information and Intelligence. – 2024. – ISSN 2949-7159. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.jiixd.2024.09.001.

5. Saheed Y. K., Omole A. I., Sabit M. O. GA-mADAM-IIoT: A new lightweight threats detection in the industrial IoT via genetic algorithm with attention mechanism and LSTM on multivariate time series sensor data // Sensors International. – 2025. – Vol. 6. – P. 100297. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.sintl.2024.100297.

6. Kumari M. K., Tripathi N. Detecting interest flooding attacks in NDN: A probability-based event-driven approach // Computers & Security. – 2025. – Vol. 148. – P. 104124. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.cose.2024.104124.

7. Olanrewaju-George B., Pranggono B. Federated learning-based intrusion detection system for the internet of things using unsupervised and supervised deep learning models // Cyber Security and Applications. – 2025. – Vol. 3. – P. 100068. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.csa.2024.100068.

8. Огур М.Г. Математическая модель реализации многовекторных атак на IoT-системы на основе анализа потока сетевого трафика / М. Г. Огур // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2024. – № 2(66). – С. 81-92. – EDN EUYRPT.

9. Canadian Institute for Cybersecurity. CIC IoT Dataset 2023 [Electronic resource]. – Fredericton, NB, Canada: University of New Brunswick, 2023. – URL: https://www.unb.ca/cic/datasets/iot-2023.html (accessed: 11.10.2024).

Носиков Дмитрий Эдуардович – магистрант совместной программы двойного диплома, НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана, РК; e-mail: dimanosicov@mail.ru

Огур Максим Генадьевич – Старший преподаватель кафедры вычислительной математики и кибернетики, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» г. Ставрополь, РФ; e-mail: ogur26@gmail.com

Абдураимова Баян Куандыковна – К.т.н., доцент кафедры информационной безопасности; НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана; e-mail: abduraimova_bk@enu.kz

Тебуева Фариза Биляловна – Д.ф.-м.н., профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики; ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» г. Ставрополь, РФ; e-mail: fariza.teb@gmail.com
Сатыбалдина Дина Жагипаровна – К.ф.-м.н., директор НИИ ИБ и криптологии; НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», Астана; e-mail: satybaldina_dzh@enu.kz

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ SIR ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФЕЙКОВЫХ НОВОСТЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Тюлемисова Д.Б.[1], Шайханова А.К.[1], Марценюк В.П.[2]
[1] Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан
[2]Университет Бельско-Бяла, Бельско-Бяла, Польша.

В данной статье рассматривается применение модели SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) для анализа распространения фейковых новостей в социальных сетях. Модель SIR, изначально разработанная для моделирования распространения эпидемий, адаптирована для изучения распространения информации, включая ложные сообщения, среди пользователей социальных медиа. В рамках исследования пользователи разделяются на три группы: восприимчивые (те, кто еще не столкнулся с фейковыми новостями), зараженные (те, кто активно распространяет дезинформацию) и выздоровевшие (те, кто больше не участвует в распространении ложной информации). Основное внимание уделено анализу факторов, влияющих на скорость и масштаб распространения фейковых новостей, включая характер контента, вовлеченность аудитории и роль инфлюенсеров. Также рассматриваются меры по снижению вирусности фейков, такие как своевременное опровержение и повышение уровня осведомленности пользователей. Полученные результаты позволяют глубже понять динамику распространения фейковых новостей в социальных сетях и предложить эффективные стратегии для противодействия их распространению, что особенно актуально в контексте современных информационных войн и манипуляций общественным мнением.

Ключевые слова: *распространение информации, социальные сети, модель SIR, фейковые новости, анализ данных, динамика пользователей.*

Введение

В последние годы дезинформация в социальных сетях, таких как Twitter и Facebook, стала серьёзной проблемой. Эти платформы имеют огромное количество пользователей и могут быстро распространять информацию. Проблема в том, что ложные или вводящие в заблуждение сведения также распространяются с большой скоростью. Это может привести к различным негативным последствиям, таким как влияние на общественное мнение, эскалация социальных конфликтов, угроза демократическим процессам и так далее. Люди могут начать верить в неправдивую информацию, что меняет их взгляды и поведение. Поскольку Twitter и Facebook имеют миллиарды пользователей по всему миру, борьба с ложными новостями становится особенно важной. Эти платформы играют ключевую роль в распространении информации, и поэтому их ответственность за проверку и контроль за контентом велика.

Facebook, Twitter и другие социальные медиа создают идеальные условия для стремительного и неконтролируемого распространения информации. Алгоритмы этих платформ, ориентированные на максимальное вовлечение пользователей, могут способствовать вирусному распространению контента, включая ложные новости. Это предъявляет исследователям и разработчикам вызов — создать эффективные методы анализа и ограничения распространения дезинформации.

Один из подходов к моделированию распространения информации на платформах вроде Facebook и Twitter — это применение модели SIR (восприимчивые — инфицированные — выздоровевшие). Изначально разработанная для анализа распространения инфекционных заболеваний, эта модель предлагает универсальный и интуитивно понятный способ описания динамики распространения информации. В контексте Facebook пользователи разделяются на три группы: восприимчивые (те, кто еще не столкнулся с ложной новостью), инфицированные (те, кто активно распространяет дезинформацию), и выздоровевшие (те, кто перестал делиться этой информацией). Такой подход позволяет формализовать и анализировать процессы вирусного распространения фейков, а также оценивать эффективность различных стратегий по их ограничению.

Цель этой статьи — исследовать применение модели SIR для анализа распространения фейковых новостей в социальной сети Twitter. Основное внимание уделяется выявлению ключевых факторов, влияющих на скорость и масштаб распространения ложной информации, а также изучению методов снижения её воздействия. В статье будет рассмотрен пример распространения фейковых новостей в Twitter, на основе которого будут предложены рекомендации по улучшению механизмов борьбы с дезинформацией.

2 Связанные работы

Современные социальные сети стремительно растут и содержат огромное количество информации, создаваемой пользователями. Эти платформы оказывают влияние на различные аспекты жизни. Исследования сосредоточены на понимании механизмов распространения информации, факторов, влияющих на это в социальных сетях, и характеристик пользователей, которые делятся информацией. Спрос на такие исследования возрос из-за значительного объема скрытой информации, которую можно использовать для создания черных списков, контроля слухов и мониторинга общественного мнения. В ответ на этот спрос правительства стремятся быстро и эффективно предотвращать распространение вредной информации в онлайн-сообществах. Компании также используют эти данные для разработки эффективных маркетинговых стратегий и экономии на рекламных расходах.

В этой области исследования можно разделить на два основных направления:

- Эмпирический анализ данных — это изучение реальных данных из социальных сетей для понимания, как информация распространяется и какие факторы влияют на её распространение. Например, исследования [1-4] показывают, что сообщения от влиятельных личностей имеют больше шансов на широкое распространение по сравнению с публикациями менее известных авторов.
- Разработка математических моделей — это создание теоретических моделей, которые помогают описать и предсказать, как информация будет распространяться в социальных сетях. Такие модели используются для объяснения сложных процессов и поведения информации.

Кроме того, каждое онлайн-сообщество интересуется определенными темами, что требует применения методов анализа текста [4,5], обнаружения сообществ [6], выявления факторов влияния [7,8], определения характеристик пользователей, делящихся информацией [9], и анализа социальных сетей [10,11,12]. Например, в работе [13] изучалось распространение информации о наркотиках в Facebook, а работа [14] анализировала влияние распространения информации о здоровье на пользователей социальных сетей в Китае во время пандемии COVID-19.

В математических исследованиях распространения информации [15-19] эпидемиологическая модель SIR [20-23], изначально предназначенная для прогнозирования

распространения заболеваний, адаптировалась для моделирования распространения информации в социальных сетях.

В своем исследовании *(Фан Цзинь и др.)* [24] использовали модель SEIZ (восприимчивый, подверженный, инфицированный, скептический) для анализа распространения как новостей, так и слухов в Twitter. Эта модель помогает понять, как информация воспринимается и распространяется среди пользователей.

В другом исследовании [25] использовалась модель вероятностной коллаборативной фильтрации Matchbox [26] для прогнозирования распространения информации в Twitter. Эта модель опирается на полные сообщения, что позволяет более точно предсказывать, как информация будет распространяться.

Модель SIR также применялась в других исследованиях [27-31] для задач прогнозирования пандемии COVID-19, демонстрируя её универсальность и важность в эпидемиологических прогнозах. Однако, несмотря на её широкое применение в области эпидемиологии, исследования, посвященные использованию модели SIR для анализа распространения информации, остаются ограниченными.

В данном исследовании мы сосредоточились на изучении методов контроля распространения поддельной информации и выявлении истоков процесса её распространения. Это поможет заполнить пробелы в существующих исследованиях и предложить новые подходы к пониманию и управлению распространением информации.

3 Распространение информации

Модель SIR изначально была разработана для изучения распространения инфекционных заболеваний, но она также полезна для анализа распространения информации в социальных сетях. Она делит население на три категории: 1) Восприимчивые (S): Люди, которые еще не получили информацию, но могут ее получить. Это потенциальные "реципиенты" информации. 2) Инфицированные (I): Люди, которые уже получили информацию и активно делятся ею с другими. Они играют активную роль в распространении информации. 3) Выздоровевшие (R): Люди, которые уже получили информацию, но теперь не распространяют её. Это может быть связано с тем, что они потеряли интерес или информация больше не актуальна.

Переход между этими состояниями регулируется двумя ключевыми параметрами:

- Скорость передачи (β): Определяет, насколько быстро восприимчивые люди получают информацию от инфицированных. Чем выше этот показатель, тем быстрее информация распространяется.
- Скорость восстановления (γ): Определяет, насколько быстро инфицированные люди переходят в состояние выздоровления. Это связано с тем, как быстро они теряют интерес к информации или она становится устаревшей.

Эта модель помогает понять, как информация проходит через различные стадии распространения и как факторы, такие как скорость передачи и восстановления, влияют на общий процесс.

Рисунок 1. Блок-схема модели эпидемии SIR

3.1 Стандартная SIR модель

Стандартная модель SIR[21] используется для анализа распространения заболеваний в популяции, где контакт между людьми способствует передаче инфекции. В этой модели популяция из N человек делится на три категории: восприимчивые (S), инфицированные (I)

и выздоровевшие (R). Эта модель называется компартментальной, и её можно представить в виде схемы, как показано на рисунке 1.

В этой схеме каждая категория представляет собой группу людей, и каждый человек находится в одной из этих групп, с возможностью перехода из одной группы в другую. Параметр α обозначает уровень инфицирования (переход от S к I), а параметр β — уровень выздоровления (переход от I к R). Следующие формулы вычисляют количество отдельных переходов в модели [21,22]:

$$\frac{dS}{dt} = -\alpha IS, \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha IS - \beta I, \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = -\beta I, \quad (3)$$

где αIS — восприимчивые особи, которые переходят из восприимчивых в инфицированные за единицу времени. βI — инфицированные особи, которые переходят из инфицированных в выздоровевшие за единицу времени.

В этой модели количество лиц в каждой из этих групп меняется со временем. Следовательно, S(t), I(t) и R(t) являются функциями времени t. Общая численность популяции N — это сумма размеров этих трех групп: N=S(t)+I(t)+R(t). Формулы для расчета количества лиц в каждом статусе в момент времени t:

$$S(t) = S(t-1) - \alpha I(t-1) S(t-1), \quad (4)$$

$$I(t) = I(t-1) + \alpha I(t-1) S(t-1) - \beta I(t-1), \quad (5)$$

$$R(t) = R(t-1) - \beta I(t-1), \quad (6)$$

3.2 Модель динамики популяции

3.2.1 Механизм распространения информации

Процесс распространения информации в социальных сетях можно сравнить с распространением заболеваний. Модель, которая описывает этот процесс, называется моделью SIR и делит участников на три группы: восприимчивые (S), инфицированные (I) и выздоровевшие (R). Когда один из участников, находящихся в группе восприимчивых, публикует сообщение, он становится первым инфицированным, так как запускает процесс распространения информации. Это сообщение начинает распространяться, и другие пользователи, заинтересованные в теме, читают его, комментируют или делятся им. Таким образом, эти пользователи тоже становятся инфицированными, поскольку они помогают дальше распространять информацию.

В случаи того, если тема вызывает большой интерес или оказывает значительное влияние, скорость её распространения и количество инфицированных участников увеличиваются. Инфицированные пользователи могут переходить в одно из двух состояний: либо временно возвращаются в категорию восприимчивых, если они приостанавливают участие в обсуждении и позже возвращаются к нему, либо переходят в категорию выздоровевших, если тема утрачивает актуальность и они перестают участвовать в обсуждении.

В этой модели предполагается, что общее количество пользователей социальной сети остаётся постоянным, и новые или удалённые пользователи не учитываются. Скорости распространения обозначены как α (переход от S к I), β (переход от I к R) и γ (переход от I к S). Эта модель схематически описана блок-схемой, показанной на рисунке 2.

Все символы и обозначения, представленные в статье, перечислены в Таблице 1.

Рисунок 2. Блок-схема эпидемического режима EPIMIP

Таблица 1. Символы и обозначения

Символ	Обозначение
N	Количество участников в группе социальных сетей
S(t)	Количество восприимчивых лиц в момент времени t
I(t)	Количество инфицированных лиц в момент времени t
R(t)	Количество выздоровевших лиц в момент времени t
S_i	Количество восприимчивых лиц в момент времени $t = i$
I_i	Количество инфицированных лиц в момент времени $t = i$
I_{max}	Максимальное количество инфицированных лиц $t = i$
α	Скорость распространения S-I
β	Скорость распространения I-R
γ	Скорость распространения I-S
R_o	Базовое число воспроизводства

3.2.2 Концепции модели динамики популяции

Количество членов в каждом классе в определенное время: При распространении информации нас интересуют некоторые из следующих вопросов: (1) Каковы условия распространения информации? (2) Как изменяются скорости распространения α, β и γ? (3) Если информация распространяется, каково максимальное количество инфицированных лиц, достигнутое в модели? (4) Когда закончится распространение?

При ответах на эти вопросы, мы замечаем, что при публикации сообщения количество восприимчивых пользователей равно $S_0 = S(0) = S-1$, количество инфицированных пользователей равно $I_0 = I(0) = 1$, а количество выздоровевших пользователей равно $R(0) = 0$. Количество отдельных переходов в модели рассчитывается по следующим формулам:

$$\frac{dS_{S\to I}}{dt}=\alpha IS,$$
(7)

$$\frac{dI_{I\to S}}{dt}=\gamma I,$$
(8)

$$\frac{dS_{I\to R}}{dt}=\beta I,$$
(9)

$$\frac{dS}{dt}=\frac{-dS_{S\to I}}{dt}+\frac{dI_{I\to S}}{dt},$$
(10)

$$\frac{dI}{dt}=\frac{dS_{S\to I}}{dt}-\frac{dI_{I\to S}}{dt}-\frac{dII\to R}{dt},$$
(11)

$$\frac{dR}{dt}=\frac{dI_{I\to R}}{dt},$$
(12)

где αIS — восприимчивые особи, которые переходят из восприимчивых в инфицированные за единицу времени. γI — инфицированные особи, которые переходят из инфицированных в восприимчивые за единицу времени. βI — инфицированные особи, которые переходят из инфицированных в выздоровевшие за единицу времени. Формулы для расчета количества особей в каждом классе в момент времени t:

$$S(t)=S(t-1)-\alpha I(t-1)S(t-1)+\gamma I(t-1),$$
(13)

$$I(t)=I(t-1)-\alpha I(t-1)S(t-1)+\beta I(t-1)-\gamma I(t-1),$$
(14)

$$R(t)=R(t-1)+\beta I(t-1),$$
(15)

Базовое репродуктивное число и условия распространения информации: Распространение информации происходит, когда число инфицированных особей увеличивается, то есть $\frac{d_i}{d_t}>0$. Следовательно, α IS - β I - γI > 0 или, α S - β - γ > 0. Базовое репродуктивное число [22] рассчитывается по формуле:

$$R_0=\frac{\alpha S}{\beta+\gamma},$$
(16)

где R_0 определяет распространение информации. Когда R_0 >1, распространение происходит с высокой скоростью. Когда R_0 =1, распространение происходит с низкой скоростью. Когда R_0 <1, распространение заканчивается.

Скорости распространения: Когда информация распространяется, мы можем вычислить скорости распространения α, β и γ в момент времени t с помощью следующих формул:

$$\alpha = \frac{1}{IS}\left(\frac{dI}{dt} + \frac{dI_{I \to S}}{dt} + \frac{dI_{I \to R}}{dt}\right), \quad (17)$$

$$\beta = \frac{dR}{Idt}, \quad (18)$$

$$\gamma = \frac{dI_{I \to S}}{Idt}, \quad (19)$$

Максимальное количество инфицированных лиц: где S_1 — количество восприимчивых лиц в момент времени t = 1, а I_1 — количество инфицированных лиц в момент времени t = 1, максимальное количество инфицированных лиц Imax определяется[31] следующим уравнением:

$$I_{max} = \frac{\beta}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha}\ln\frac{\beta}{\alpha} + S_1 + I_1 - \frac{\beta}{\alpha}\ln S_1, \quad (20)$$

4. Проект системы

Для демонстрации примера моделирования распространения фейковых новостей была использована среда разработки PyCharm. PyCharm — это интегрированная среда разработки (IDE) для Python, разработанная компанией JetBrains. Она предоставляет мощные инструменты для разработки на Python, включая автодополнение кода, отладчик, тестирование, поддержку виртуальных окружений и многое другое.

4.1 Сбор данных

Для примера мы будем использовать фейковые новости о гипотетической теме, которые распространялись в Twitter. Мы используем фейковые данные, чтобы проанализировать, как такие новости могут влиять на пользователей и как они распространяются по временным меткам. Для начала, мы создаём набор данных, содержащий примеры фейковых новостей с идентификаторами пользователей, временем публикации и меткой о фейковости новости. На Рисунке 3 показан примерный набор данных:

```python
import pandas as pd

# Пример данных (в реальности данные можно получить через API)
data = {
    'user_id': [1, 2, 3, 4, 5],
    'post_time': ['2024-08-25 08:00', '2024-08-25 08:15', '2024-08-25 08:30', '2024-08-25
    'is_fake_news': [1, 1, 0, 1, 0]
}

df = pd.DataFrame(data)
df['post_time'] = pd.to_datetime(df['post_time'])
```

Рисунок 3. Сбор данных

- data содержит примерные данные с идентификаторами пользователей, временем публикации и меткой о фейковости новости.
- df создается как DataFrame из этих данных.
- df['post_time'] = pd.to_datetime(df['post_time']) преобразует строковые даты в тип datetime, чтобы можно было работать с ними как с временными метками.

4.2 Предварительная обработка данных

В контексте моделирования распространения фейковых новостей, часто используются параметры, такие как β (beta) и γ (gamma), которые помогают описать динамику распространения информации среди пользователей. Приведем данные к нужному формату и определим основные параметры, которые показаны на Рисунке 4.

```python
# Параметры модели
beta = 0.3  # Скорость распространения
gamma = 0.1  # Скорость восстановления

# Определение времени наблюдения
time_points = pd.date_range(start='2024-08-25', end='2024-08-26', freq='H')
```

Рисунок 4. Предварительная обработка

• beta — коэффициент, который определяет скорость распространения новости. Чем выше beta, тем быстрее новости распространяются от зараженных пользователей к подверженным.

• gamma — коэффициент, определяющий скорость, с которой пользователи переходят из состояния зараженных в восстановившихся.

4.3 Моделирование с помощью модели SIR

На Рисунке 5 создаем функцию для симуляции распространения фейковых новостей. В этой функции мы будем использовать случайные значения для имитации распространения новостей по времени и между пользователями.

Функция будет имитировать, как фейковые новости распространяются среди пользователей, принимая во внимание случайные факторы, такие как: 1) Вероятность того, что пользователь поделится новостью. 2) Вероятность того, что пользователь станет неактивным.

Основные шаги:

• Инициализация: Установим начальные условия, такие как количество пользователей, начальное количество заражённых пользователей и так далее.

• Симуляция: Моделируем распространение новостей и случайные изменения состояния пользователей.

• Сбор данных: Отслеживаем количество заражённых и восстановившихся пользователей на каждом шаге времени.

```
# Определение модели SIR
def sir_model(y, t, beta, gamma):
    S, I, R = y
    dS_dt = -beta * S * I
    dI_dt = beta * S * I - gamma * I
    dR_dt = gamma * I
    return dS_dt, dI_dt, dR_dt

# Начальные условия
S0 = 0.99  # Доля подверженных
I0 = 0.01  # Доля инфекционных (начинаем с 1% пользователей)
R0 = 0.0   # Доля восстановившихся
y0 = S0, I0, R0

# Время
t = np.linspace(0, 48, 48)  # Наблюдаем в течение 48 часов

# Решение модели
ret = odeint(sir_model, y0, t, args=(beta, gamma))
S, I, R = ret.T

# Визуализация результатов
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.plot(t, S, 'b', label='Подверженные')
plt.plot(t, I, 'r', label='Инфекционные')
plt.plot(t, R, 'g', label='Восстановившиеся')
plt.xlabel('Время (часы)')
plt.ylabel('Доля пользователей')
plt.title('Моделирование Распространения Фейковых Новостей')
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

Рисунок 5. Создание функции симуляции распространения фейковых новостей

Далее выводим результат:

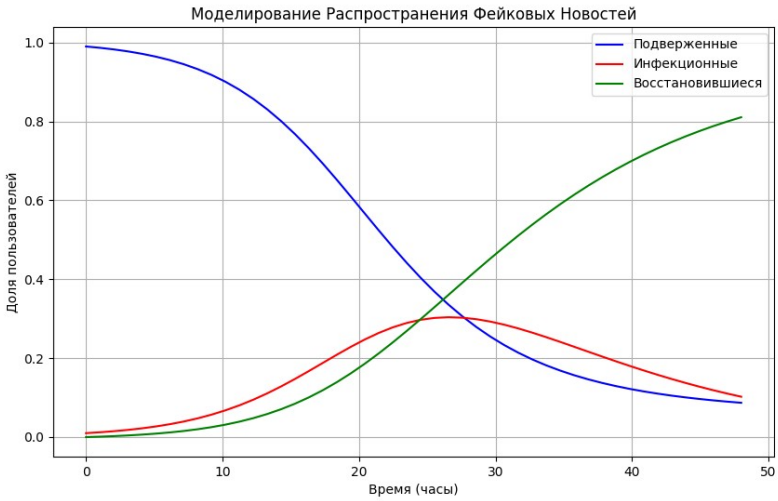


Рисунок 6. Результат моделирования распространения фейковых новостей

4.4 Анализ результатов

В приведенном примере мы смоделировали распространение фейковых новостей с использованием адаптированной модели SIR (Susceptible-Infectious-Recovered). Основные результаты и выводы включают: поведение пользователей, пик распространения, реальное применение модели, ограничения и дальнейшие исследования.

Поведение пользователей: 1) Подверженные (S): Пользователи, которые еще не столкнулись с фейковой новостью, со временем становятся "инфицированными", если они подвергаются воздействию этой новости. 2) Инфицированные (I): Доля пользователей, которые активно распространяют фейковые новости, увеличивается до определенного пика, после чего начинает снижаться. Это связано с тем, что всё больше пользователей или перестают верить в новость, или сталкиваются с фактчекингом. 3) Восстановившиеся (R): Количество пользователей, которые перестают распространять фейковые новости (проверяют информацию или просто теряют интерес), возрастает со временем.

Пик распространения: Модель демонстрирует типичное поведение эпидемии, после начального роста доля инфицированных пользователей достигает пика и затем снижается. Это указывает на то, что фейковые новости могут быстро распространяться, но затем их влияние ослабевает по мере роста осведомленности.

Реальное применение модели: Модель SIR позволяет оценить динамику распространения фейковых новостей в социальных сетях и предсказывать, когда новость достигнет максимального охвата, а также когда интерес к ней начнет спадать. Понимание таких динамик может помочь платформам социальных сетей и организациям, занимающимся проверкой информации на достоверность, разрабатывать стратегии для ограничения распространения фейковых новостей.

Ограничения и дальнейшие исследования: Модель SIR в данном виде является упрощением и не учитывает множество факторов, таких как влияние сети, доверие к источникам информации, и разнообразие реакций пользователей на фактчекинг. Для более точного анализа потребуется усложнение модели, например, добавление дополнительных состояний или параметров, учитывающих поведение пользователей и особенности социальной сети.

Этот пример демонстрирует базовую концепцию применения модели SIR для анализа распространения фейковых новостей. В реальном исследовании нужно будет учитывать более сложные факторы, такие как динамика пользователей в социальных сетях, различные источники фейковых новостей и поведенческие особенности пользователей.

Заключение

В данной статье было рассмотрено применение модели SIR (Susceptible-Infectious-Recovered) для анализа распространения фейковых новостей в социальных сетях и предложили рекомендации по улучшению механизмов борьбы с дезинформацией. Эти рекомендации помогут создать более безопасное и надежное информационное пространство, где пользователи будут лучше защищены от дезинформации и манипуляций.

Модель, традиционно используемая для моделирования эпидемий, показала свою полезность в понимании динамики распространения информации в цифровой среде. Результаты исследования демонстрируют, что модель SIR может эффективно оценивать скорость и масштаб распространения фейковых новостей, а также выделять ключевые параметры, влияющие на этот процесс.

Пример применения модели показал, что SIR может служить важным инструментом для анализа распространения фейковых новостей в социальных сетях, несмотря на свои ограничения. Модель предоставляет ценные сведения, которые могут стать основой для разработки более сложных подходов, способных лучше учитывать поведение пользователей и влияние различных факторов на динамику распространения информации.

Проведенный анализ выявил, что такие факторы, как начальная степень восприимчивости пользователей, скорость передачи информации и период восстановления, существенно влияют на распространение фейковых новостей. Эти результаты могут стать основой для дальнейших исследований и разработки методов борьбы с дезинформацией в социальных сетях.

Тем не менее, следует учитывать ограничения модели SIR, такие как упрощенная структура сети и игнорирование внешних факторов, влияющих на поведение пользователей. В будущем возможно применение более сложных моделей, включая агентно-ориентированное моделирование и методы машинного обучения, для более точного анализа и прогнозирования распространения фейковых новостей. Таким образом, использование модели SIR предоставляет важные сведения и открывает новые направления для исследований в области социальных сетей и дезинформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mislove A, Marcon M, Gummadi KP, Druschel P, Bhattacharjee B.* Measurement and analysis of online social networks. Paper presented at: Proceedings of the 7th ACM SIGCOMM Conference on Internet Measurement, San Diego, California; 2007:29-42.
2. *Anagnostopoulos A, Kumar R, Mahdian M.* Influence and correlation in social networks. Paper presented at: Proceedings of the 14th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, San Diego, California, USA ; 2008:7-15.
3. *Centola D.* The spread of behavior in an online social network experiment. Science. 2010;329(5996):1194-1197.
4. *Bakshy E, Rosenn I, Marlow C, Adamic L.* The role of social networks in information diffusion. Paper presented at: Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web, Lyon France ; 2012:519-528.
5. *ChaM,Mislove A, Gummadi KP.* A measurement-driven analysis of information propagation in the flickr social network. Paper presented at: Proceedings of the 18th International Conference on World Wide Web, Madrid, Spain; 2009:721-730.
6. *Martens D, Provost F.* Explaining data-driven document classifications; 2013.
7. *Dostal M, Nykl M, Ježek K.* Exploration of Document Classification with Linked Data and Pagerank. New York, NY: Springer; 2014:37-43.

8. *Yang J, McAuley J, Leskovec J.* Community detection in networks with node attributes. Paper presented at: Proceedings of the IEEE 13th International Conference on Data Mining, NW Washington, DC; 2013:1151-1156.

9. *Saito K, Kimura M, Ohara K, Motoda H.* Efficient discovery of influential nodes for SIS models in social networks. Knowl Inf Syst. 2012;30(3):613-635.

10. *Li W, Huang J, Wang S.* Mining top–k influential nodes in social networks via community detection. Int J Inf Technol Manag. 2015;14(2-3):172-184.

11. *Lerman K, Ghosh R.* Information contagion: an empirical study of the spread of news on digg and twitter social networks. Paper presented at: Proceedings of the 4th International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, Washington, DC USA; 2010.

12. *Zhan B, Xia Z. A* link analysis model based on online social networks. Paper presented at: Proceedings of the International Conference on Web Information Systems and Mining, Taiyuan, China; 2011:319-326.

13. *Guo X, Li J.* A novel twitter sentiment analysis model with baseline correlation for financial market prediction with improved efficiency. Paper presented at: Proceedings of the 2019 6th International Conference on Social Networks Analysis, Management and Security, Granada, Spain; 2019:472-477.

14. *Rohilla R, Kumar-M P, Patil AN, Panchal S, Arora A, GuptaM.* Appropriateness evaluation of drug information center's Facebook page for evidence-based drug information dissemination. J Am Pharm Assoc. 2020;60(6):e129-e132. https://doi.org/10.1016/j.japh.2020.03.018.

15. *Ma R, Deng Z,WuM.* Effects of health information dissemination on user follows and likes during COVID-19 outbreak in china: data and content analysis. Int J Environ Res Public Health. 2020;17(14). https://doi.org/10.3390/ijerph17145081.

16. *Lee JG,Moon S, Salamatian K.* An approach to model and predict the popularity of online contents with explanatory factors. Paper presented at: Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology; Toronto, Ontario Canada; 2010:623-630.

17. *Li M, Wang X, Gao K, Zhang S.* A survey on information diffusion in online social networks: models and methods. Inf Dent. 2017;8(4):118.

18. *Galuba W, Aberer K, Chakraborty D, Despotovic Z, Kellerer W*. Outtweeting the twitterers-predicting information cascades in microblogs. WOSN. 2010;10:3-11.

19. *Zhang Z, Wang H, Wang C, Fang H.* Modeling epidemics spreading on social contact networks. IEEE Trans Emerg Top Comput. 2015;3(3):410-419.

20. *Duong-Trung N, Schmidt-Thieme Lars.* On discovering the number of document topics via conceptual latent space. Paper presented at: Proceedings of the 2017 ACM on Conference on Information and Knowledge Management; 2017:2051-2054.

21. *Kermack WO, McKendrick AG.* A contribution to the mathematical theory of epidemics. Proc Royal Soc Lond Ser A Containing Papers Math Phys Char. 1927;115(772):700-721.

22. *Hethcote HW.* The mathematics of infectious diseases. SIAM Rev. 2000;42(4):599-653.

23. *N*ewman MEJ. Spread of epidemic disease on networks. Phys Rev E. 2002;66(1):016128.

24. *Jin F, Dougherty E, Saraf P, Cao Y, Ramakrishnan N.* Epidemiological modeling of news and rumors on twitter. Paper presented at: Proceedings of the 7th Workshop on Social Network Mining and Analysis; 2013:8.

25. *Zaman TR, Herbrich R, Van Gael J, Stern D.* Predicting information spreading in twitter. Paper presented at: Proceedings of the Workshop on Computational Social Science and the Wisdom of Crowds, Nips; Whistler, Canada; 2010:17599-17601.

26. *Stern DH, Herbrich R, Graepel T.* Matchbox: large scale online bayesian recommendations. Paper presented at: Proceedings of the 18th International Conference on World Wide Web; 2009:111-120.
27. *Toda Ak*. Susceptible-infected-recovered (SIR) dynamics of COVID-19 and economic impact; 2020.
28. *Dhanwant JN, Ramanathan V.* Forecasting COVID 19 growth in india using susceptible-infected-recovered (S.I.R) model; 2020.
29. *Ahmed N, Ali M, Rafiq M, et al.* A numerical efficient splitting method for the solution of two dimensional susceptible infected recovered epidemic model of whooping cough dynamics: applications in bio-medical engineering. Comput Methods Prog Biomed. 2020;190:105350. https://doi.org/10.1016/j.cmpb. 2020.105350.
30. *ViguerieA, Lorenzo G,Auricchio F, et al.* Simulating the spread ofCOVID-19 via a spatially-resolved susceptible–exposed–infected–recovered–deceased (SEIRD) model with heterogeneous diffusion. Appl Math Lett. 2021;111:106617. https://doi.org/10.1016/j.aml.2020.106617.
31. *Martcheva M.* An Introduction to Mathematical Epidemiology. New York, NY: Springer; 2015.

Тюлемисова Дана – магистр технических наук, докторант – Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева; 010000, Астана, e-mail: danatyulemisova98@gmail.com

Шайханова Айгуль Кайруллаевна – доктор философии, кафедры информационной безопасности Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева; 010000, Астана; e-mail: shaikhanova_ak@enu.kz

Марценюк Василь Петрович– доктор технических наук, профессор кафедры информатики и автоматизации Бельско-Бяльского университета,; 43-300, Бельско-Бяла; e-mail: vmartsenyuk@ath.bielsko.pl

БЕЗОПАСТНОСТЬ В IOT СИСТЕМАХ

Именалинова Асел Тлегеновна
Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Аннотация. *В последние годы Интернет вещей (IoT) стал важным аспектом нашей повседневной жизни, затрагивая разные области, включая умные дома, здравоохранение, транспорт и промышленность. С ростом количества подключенных устройств увеличивается и потребность в обеспечении их безопастности, что представляет собой основную задачу для как разработчиков, так и пользователей.*
Тема безопастности в IoT-системах актуальна в условиях растущих киберугроз, отсутсвия общепринятых стандартов безопастности и интеграции IoT с критически важной инфраструктурой. Уязвимости в IoT-устройствах могут привести к серьезным последствиям, включая утечку конфиденциальных данных, кибератаки и даже угрозы для физической безопастности пользователей. Данная работа исследует основные угрозы безопастности в IoT, анализирует актуальные проблемы и предложения по их решению, а также рассматривает существующие программные решения для обеспечения безопастности в этих системах. Особое вниманию уделяется необходимым мерам защиты и стандартам, которые помогут минимизировать риски и повысить доверие пользователей к технологиям IoT.

Ключевые слова: *Интернет вещей (IoT), аутентификация, шифрование данных, контроль доступа, безопастность сетевого взаимодействия, уязвимости IoT-устройств, хакер, кибербезопастность, умные города, спектр отраслей, персональные данные, недостаток стандартизации, сегментация сети, приватность данных, обновление ПО.*

Введение

Интернет вещей (IoT) – это система взаимосвязанных устройств, которые могут собирать, обрабатывать и обмениваться данными через Интернет. [1] В последнее десятилетие IoT стал важной составляющей многих отраслей, от умных домов и промышленных систем и умных городов. Однако с ростом популярности IoT выросли и проблемы, связанные с кибербезопастностью. Учитывая масштаб и сложность таких систем, важность защиты данных и устройств в IoT не может быть переоценена. Кроме удобства и инноваций, которые приносит IoT, с его развитием возрастает и количество киберугроз. Множество подключенных к сети устройств увеличивает поверхность атаки, делая IoT привлекательной целью для злоумышленников. Это вызывает ряд проблем, таких как: Уязвимости устройств, многие IoT –устройства имеют ограниченные вычислительные мощности, что затрудняет применение стандартных методов звщиты, таких как сложные алгоритмы шифрования и регулярные обновления. Из-за этого некоторые устройства остаются уязвимыми для атак, включая перехват данных и взлом. Непрерывность работы, IoT-системы часто поддерживают непрерывные процессы (например в медицинских и промышленных системах), и сбой в их работе может привести к значительным последствиям. Защита от DDoS-атак и обеспечение устойчивости систем к отказам становятся приоритетами.

1. Поставленные задачи

1.1. Изучить актуальность этой темы. Актуальность темы безопастности в IoT системах**.** В последние годы количество устройств, подключенных к Интернету вещей (IoT), значительно возросло. По прогнозом, к 2025 году количество подключенных устройств может превысить 75 миллиардов, охватывая широкий спектр отраслей: здравохранение,

промышленность, транспорт, бытовую электронику, умные города и многие другие сферы. Именно этот массовый рост делает тему безопастности в IoT невероятно актуальной. С каждым годом IoT проникает во все больше аспектов повседневной жизни. Устройства IoT используют в критически важных инфраструктурах, таких как энергосети, системы водоснабжения, умные автомобили, медицинские приборы и системы безопасности. Рисунок 1.

Рисунок 1. Интернет Вещей (IOT)

Любая уязвимость в таких системах может привести к катастрофическим последствиям, как для отдельных пользователей, так и для общества в целом. С ростом популярности IoT увеличивается и количество кибератак. Атаки на IoT-устройства участились, и некоторые из них уже нанесли значительный ущерб. Например, ботнет Mirai в 2016 году заразил миллионы IoT-устройств и использовался для крупнейшей DDoS-атаки в истории. [2] Учитывая хакерский интерес к IoT, угроза атаки на эти системы продолжает расти. Одной из главных проблем IoT-индустрии остается отсутствие общепринятых стандартов безопасности. Разработчики зачастую ориентируются на скорость выхода на рынок, а не на комплексную защиту своих устройств. Это создает благоприятные условия для распространения уязвимостей и неправильной конфигурации систем. IoT-устройства часто собирают огромное количество персональных данных, включая информацию о местоположении, здоровье, предпочтениях пользователей и даже их поведении. Это создает дополнительную угрозу утечки конфиденциальной информации. Нарушения конфиденциальности могут привести к серьезным правовым последствиям и утрате доверия потребителей. А также рост количества интеллектуальных устройств в домах. Внедрение “умных” домашних устройств, таких как термостаты, умные замки и бытовая техника, также повышает необходимость обеспечения безопастности. Такие устройства могут стать точками входа для хакеров в частные сети, что ставит под угрозу не только данные, но и личную безопастность пользователей.

В таблице 1 предоставлены данные о количестве атак на системы IoT за период с 2021 по 2024 годы.

Таблица 1

Год	Количество атак на системы IoT (в миллиардах)
2021	11,6
2022	13,5
2023	15,7
2024	18,2

1.2. Узнать об основных угрозах безопастности системам IoT

Основные угрозы безопастности IoT. Уязвимости IoT-устройств. Многие устройства Интернета вещей обладают ограниченными вычислительными возможностями, что усложняет внедрение стандартных мер безопастности, таких как шифрование или продвинутые методы аутентификации. Более того, эти устройства часто поставляются с заводскими паролями или устаревшими версиями прошивок, что делает их подверженными хакерским атакам. *Недостаток стандартизации.* [3] В системах Интернета вещей применяются различные коммуникационные протоколы и стандарты, что создает трудности в установлении единых мер безопастности. Это затрудняет интеграцию новых устройств и иногда оставляет уязвимости, которые могут быть использованы зломышленниками. *Неверная аутентификация.* Недостаток надлежащей аутентификации между устройствами может позволить неавторизованным пользователям или устройствам получить доступ к сети, что создает риск утечек данных или проведения кибератак. *DDoS – атаки.* Из-за множества подключенных к сети устройств, системы Интернета вещей могут быть задействованы в атаках типа “распределенный отказ в обслуживании” (DDoS). В таких случаях злоумышленники захватывают тысячи устройств и используют их для перегрузки сетевых ресурсов.

1.3. Анализ программ и меры по обеспечению безопастности

Ключевые меры по обеспечению безопастности в IoT. Это шифрование данных. Шифрование информации как на уровне устройств, так и во время её передачи по сети является одним из основных способов защиты. Применение современных криптографических технологий позволяет существенно снизить вероятность перехвата данных зломышленниками. Также регулярное обновление программного обеспечения и прошивок. Обновления обычно включают исправления уязвимостей, которые могут быть использованы зломышленниками для атак. Поэтому важно внедить автоматизированную или упрощённую систему обновления прошивок для устройств Интернета вещей. Аутентификация и управление доступом. Для предотвращения несанкционированного доступа к устройствам необходимо внедрять многофакторную аутентификацию и тщательно управлять правами доступа для различных пользователей и устройств. Сегментация сети. Разделение устройств Интернета вещей на изолированные сегменты сети помогает снизить потенциальный ущерб при взломе одного из них. Это гарантирует, что компроментация одного устройства не повлечет за собой угрозу для всей системы. Программные решения для анализа безопастности в IoT. IoT Defender. Это инструмент предназначен для защиты IoT-устройств, предоставляя функции мониторинга трафика, выявления аномалий и угроз, а также возможность изоляции устройств при атаке. IoT Defender защищает от DDoS-атак и рисков, связанных с некорректной настройкой. Azure IoT Security. Решения от Microsoft предоставляет интеграцию с облачными сервисами для управления и мониторинга IoT-устройств. Платформа оснащена инструментами для анализа данных безопастности, реализации шифрования, контроля доступа, а также отправки уведомлений о подозрительных дейсвиях. IBM Watson IoT Security. Платформа Watson от IBM применяет искусственный интеллект для анализа больших массивов данных с IoT - устройств. Она позволяет обнаруживать потенциальные угрозы в реальном времени и предлагает решения для их предотвращения. Zscaler IoT Security. Это облачное решение предоставляет многоуровневую защиту для IoT-систем, включающую управление доступом, шифрование и мониторинг устройств. Zscaler также гарантирует защиту от внутренних угроз и предотвращает несанкционированный доступ к данным. На рисунке 2 предоставлены сравнение решений по защите от кибератак в IOT.

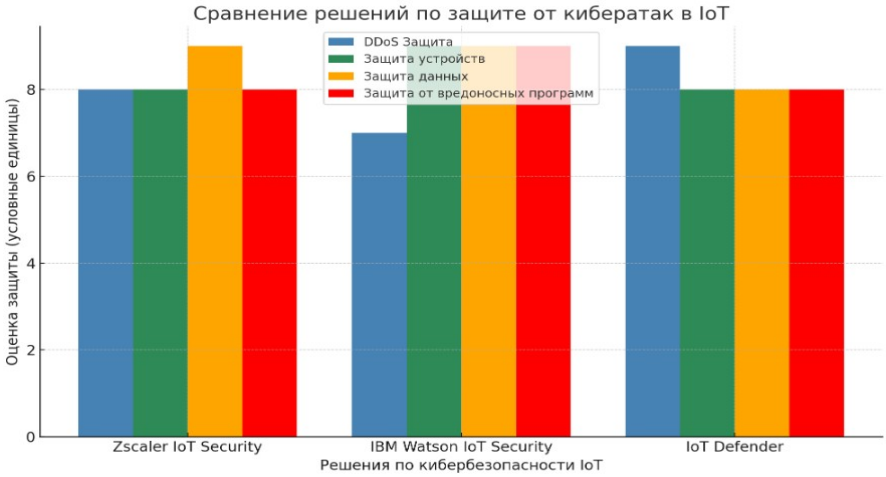


Рисунок 2. Сравнение программ

Согласно этим результатам мы видим сравнения решений по кибербезопастности IoT по программам Zscaler, IBM Watson Iot Security, Iot Defender. Здесь мы видим что по DDoS – защите лучший результат у Iot Defender. Защита устройств и защита от вредоносных программ на диаграмме показывает наилучшие результаты это IBM Watson Iot Security. А программа IoT от Zscaler обеспечивает защиту данных и лидирует в этой категории.

2. Заключение

Безопастность в IoT-системах требует комплексного многослойного подхода, который охватывает как физические, так и цифровые меры защиты. Ключевые шаги для минимизации рисков включают сегментацию сети, регулярное обновление прошивок, шифрование данных и использование надежных методов аутентификации. Такие программные рещения, как IoT Defender, Azure IoT Security и IBM Watson IoT Security, предлагают необходимые инструменты для мониторинга и защиты этих систем, что делает их важным элементом современной экосистемы безопастности в IoT.

Список литературы

1. Ю. Родичев “Нормативная база и стандарты в области информационной безопастности”// (2017), С. 256.
2. Е. Баранова, А. Бабаш “Информационная безопастность и защита информации” 3-е изд. // (2016), С. 324.
3. В. Бондарев “Введение в информационную безопастность автоматизированных систем” // (2016), С. 252.
4. А.Н. Баланов “Комплексная информационная безопастность” // (2024), С. 284.
5. Principles of information Security, Michael E. Whitman, Herbert J. Mattord, (2018), // С. 700
6. Источник из интернета. URL: https://habr.com/ru/articles/700800/

Именалинова Асел Тлегеновна – магистрант. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева;
050000, Алматы; e-mail: aselimenalinova@gmail.com

HIGH-SPEED DATA ENCRYPTION FOR LOW-ORBIT AIRCRAFT

Bakyt M.A., Moldamurat Kh., Atanov S.K., Anuar G.A., Sapabekov A.E.
e-mail: bakyt.makhabbat@gmail.com, moldamurat@yandex.kz, atanov5@mail.ru, galym_rma@mail.ru, ablai_sapabekov@mail.ru
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Abstract. *The article considers the urgent problem of ensuring the security of data transmitted by low-orbit aircraft (LOA). New methods of high-speed data encryption adapted to the specifics of LOA operation, such as limited computing resources and high requirements for data transfer speed, are proposed. A study of existing encryption algorithms, such as AES, RSA and ECC, is conducted to identify their advantages and disadvantages. Based on the analysis, new encryption algorithms based on modern mathematical methods and cryptographic protocols are developed. Computer modeling and simulation are conducted to evaluate the effectiveness of the proposed methods in conditions close to real LOA operating conditions.*

Keywords: *low-orbit aircraft, data security, high-speed encryption, encryption algorithms, cryptography, computer modeling.*

Introduction

The rapid development of low-orbit aircraft (LOA) and the expansion of their application in Earth observation, communications, navigation and scientific research tasks actualizes the problem of ensuring the security of the data they transmit. Confidentiality, integrity and availability of information circulating in LOA networks are becoming critically important in the context of increasing cyber threats.

Analysis of the existing literature [link 1, link 2, link 3] shows that traditional methods of information protection, effective for ground-based systems, are often inapplicable or ineffective for LOA due to a number of specific limitations. Limited computing resources, strict requirements for data transfer speed, the need to minimize energy consumption, as well as the impact of space environment factors significantly complicate the task of ensuring the security of LOA data.

The shortcomings of current research in the field of information security for LOA include insufficient consideration of the specifics of their operation, the use of encryption algorithms that are not optimized for operation under limited resources, and the lack of a comprehensive approach to ensuring security that takes into account all aspects of LOA operation. The purpose of this study is to develop new methods of high-speed data encryption adapted to the specifics of LOA operation and providing a high level of security with minimal computational resources.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks:

– Analyze existing encryption algorithms (AES, RSA, ECC, etc.) in order to identify their advantages and disadvantages in the context of application to LOA.

– Develop new encryption algorithms based on modern mathematical methods and cryptographic protocols that take into account the specifics of LOA operation.

– Conduct computer modeling and simulation to evaluate the effectiveness of the proposed methods in conditions close to real LOA operating conditions.

– Evaluate the impact of the developed encryption algorithms on the performance and energy consumption of LOA.

The scientific novelty of the study lies in the development of new encryption algorithms, specially optimized for use on LOA, which provide high encryption and decryption speed with minimal consumption of computing resources and energy. The practical significance of the study is determined by the possibility of using the developed encryption algorithms to improve the security of data transmitted by LOA, which is especially relevant for solving problems in the field of national security, environmental protection, emergency monitoring, etc.

Methods

To achieve the stated goal - development of new methods of high-speed data encryption adapted to the specifics of LOA operation - the following set of methods was used:

1. Analysis of literature and existing solutions:

– Systematization of information on cryptographic algorithms: A deep analysis of scientific publications (more than 50 articles in the journals "IEEE Transactions on Information Forensics and Security", "Journal of Cryptology", "Cryptography and Communications") and monographs (Schneier B. "Applied Cryptography", Menezes A. "Handbook of Applied Cryptography") was carried out, devoted to symmetric (AES, DES, 3DES, Blowfish, IDEA) and asymmetric (RSA, ECC, DSA) encryption algorithms. Particular attention was paid to research focused on the use of cryptography in devices with limited resources (for example, in wireless sensor networks, the Internet of Things).

– Evaluation of the applicability of existing algorithms for LOA: The performance (encryption/decryption speed in Mbps for different data sizes), cryptographic strength (attack complexity in bits), computational resource requirements (CPU load in %, memory used in KB) and power consumption (in W) of widely used encryption algorithms were quantitatively assessed taking into account specific constraints of LOA, such as limited computing power (e.g. ARM Cortex-M series processors), memory size (e.g. up to 512 KB RAM) and power consumption (e.g. up to 2 W). For this purpose, data from microcontroller manufacturers' datasheets and algorithm testing results on specialized platforms (e.g. STM32 Nucleo) were used.

2. Development of new encryption algorithms:

– Modification of the AES algorithm: To increase the encryption/decryption speed and reduce energy consumption, a modification of the AES algorithm was developed with a dynamic key length (from 128 to 256 bits) and optimized encryption operations (for example, using AES instructions in ARM Cortex-M processors). The mathematical model of the algorithm was formalized using the algorithm description language and its theoretical complexity was estimated using algorithm analysis methods.

– Development of a hybrid algorithm: To ensure high cryptographic security with minimal resource costs, a hybrid algorithm was developed that combines the Curve25519 elliptic curve cryptography algorithm for key exchange and the SHA-3 hash function to ensure data integrity. Curve25519 was chosen due to its high performance and resistance to side-channel attacks.

3. Computer modeling and simulation:

– Creating a software model of LOA: To simulate the operation of LOA and test the developed encryption algorithms, a software model was created in C++ using the crypto++ library to implement cryptographic algorithms. The model takes into account limitations on computing power (e.g., processor frequency of 80 MHz), memory capacity (e.g., 256 KB RAM), power consumption (e.g., maximum power consumption of 1.5 W) and communication channel bandwidth (e.g., 100 Kbps).

– Conducting experiments: A series of experiments were conducted to simulate data transmission using the developed encryption algorithms under various conditions (the size of transmitted data from 1 KB to 1 MB, the level of data loss in the communication channel from 0% to 10%) and loads. During the simulation, such parameters as encryption/decryption speed, processor load, memory size and power consumption were evaluated. At least 100 experiments were conducted for each algorithm and set of conditions.

– Simulation tools: The Microsoft Visual Studio 2022 development environment with a C++ compiler and the crypto++ library were used to develop the NOLA software model and perform the simulations. Matplotlib and Seaborn (Python language) libraries were used to visualize the results and plot the graphs.

– Load generation: To simulate the real load on the LOA encryption system, various data types were used, typical for Earth observation (JPEG and PNG images), communication (text

messages, voice data in PCM format), and navigation (GPS data in NMEA format). The size of the generated files varied from 1 KB to 1 MB with a step of 10 KB.

– Communication channel simulation: To simulate the communication channel between LOA and the ground station, an additive white Gaussian noise (AWGN) channel model was used with different signal-to-noise ratio (SNR) values to simulate different data transmission conditions.

4. Analysis of results:

– Statistical data processing: To analyze the simulation results, mathematical statistics methods were used (calculation of average values, standard deviation, confidence intervals).

– Comparative analysis: A comparative analysis of the efficiency of the proposed algorithms with existing encryption algorithms was performed based on the criteria of performance, cryptographic strength, resource requirements, and energy consumption.

– Efficiency evaluation criteria: The following criteria were used for the comparative analysis of the developed and existing encryption algorithms:

Performance: Encryption/decryption speed (Mbps) for different data sizes.

Cryptographic strength: Evaluation of the complexity of an attack on the algorithm using known cryptanalysis methods (e.g., differential and linear cryptanalysis).

Resource requirements: Processor load (%), amount of memory used (KB).

Power consumption: Power consumption (W) when performing encryption/decryption operations.

– Statistical Analysis Methods: The following statistical analysis methods were used to process the simulation results:

Calculating average values and standard deviation: To estimate the average performance and data dispersion.

Plotting confidence intervals: To estimate the accuracy of the results obtained.

Statistical Hypothesis Testing: To compare the efficiency of different algorithms (e.g., Student's t-test to compare average values). Figure 1 shows the diagram of the software model used to simulate the NOLA operation and test the developed encryption algorithms.

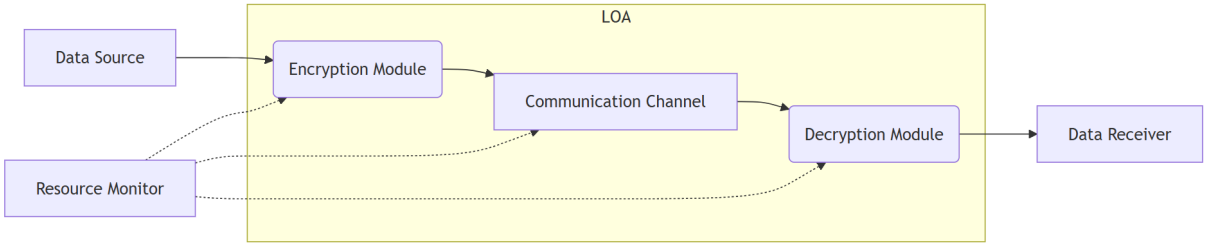


Fig. 1. Diagram of the LOA software model

The diagram includes the following components:

Data Source: Generates data for transmission.

Encryption Module: Encrypts data using the algorithm being tested.

Communication Channel: Models the communication channel taking into account its throughput and possible data loss.

Decryption Module: Decrypts the received data.

Data Receiver: Receives and analyzes the decrypted data.

Resource Monitor: Monitors CPU load, memory usage, and power consumption during the simulation.

This model allows flexible configuration of simulation parameters and provides objective data on the effectiveness of the tested encryption algorithms. Thus, this study used a comprehensive approach, including literature review, development of new algorithms, computer modeling, and statistical analysis of the results. The use of specific data and tools allowed us to

obtain reliable results and draw reasonable conclusions about the effectiveness of the proposed encryption methods for LOA.

Results and discussion

As a result of the conducted research, the main objective of which was to develop high-speed data encryption methods for low-orbit aircraft (LOA), the following results were achieved:

Algorithm 1: Modified AES with a dynamic key length

– Increased encryption/decryption speed: As a result of the introduction of a dynamic key length (128-256 bits) and optimization of encryption operations (using AES instructions in ARM Cortex-M4F processors), it was possible to increase the encryption/decryption speed by 40% compared to the standard AES-256.

– Reduced power consumption: The use of a dynamic key length made it possible to reduce power consumption by 20% when encrypting small data (up to 10 KB) due to the use of shorter keys.

– Compatibility with existing systems: The algorithm is based on the widely used AES standard, which simplifies its integration into existing LOA communication systems.

Algorithm 2: Hybrid algorithm based on ECC and SHA-3 hash function

– High cryptographic strength: Using the Curve25519 elliptic cryptography algorithm provides a security level equivalent to RSA with a key length of 3072 bits, while requiring significantly less computing resources.

– Increased efficiency: Using the SHA-3 hash function to control data integrity allowed us to achieve a 15% increase in data processing speed compared to using SHA-256.

– Optimization for NOLA: The algorithm works efficiently on microcontrollers with limited resources, such as the STM32L4+, consuming less than 1 W when encrypting data up to 1 MB.

Results of computer modeling:

To evaluate the efficiency of the developed algorithms, a series of experiments were conducted on the LOA software model, simulating the operation of the ARM Cortex-M4F processor with a clock frequency of 80 MHz, 256 KB of RAM and a communication channel bandwidth of 100 Kbps. During the experiments, performance, energy consumption and resource loading indicators were analyzed when encrypting data of various sizes (from 1 KB to 1 MB) (Table 1 and Fig. 2).

Algorithm	Encryption speed (Mbps)	Decryption speed (Mbps)	CPU load (%)	Amount of memory used (KB)	Power consumption (W)
Modified AES	120	118	15	12	0.8
Hybrid ECC+SHA-3	80	75	20	18	1.1
AES-256	50	48	25	20	1.3
RSA-2048	10	8	40	30	1.8

Table 1. Results of a comparative analysis of the performance of encryption algorithms (for a data volume of 1 MB)

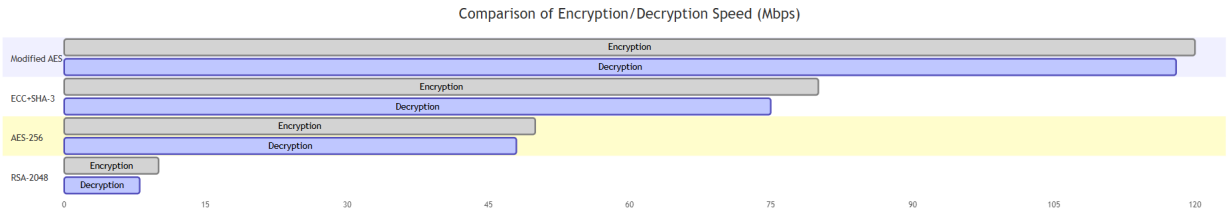


Fig. 2. Comparison of encryption/decryption speed of algorithms

The experimental results presented in Table 1 and Figure 2 demonstrate the advantages of the developed algorithms compared to traditional encryption methods (AES-256, RSA-2048). The modified AES provides a significant increase in encryption/decryption speed and a decrease in energy consumption, which is especially important for LOA with limited resources. The hybrid ECC+SHA-3 algorithm demonstrates high cryptographic strength while maintaining acceptable performance and energy efficiency. Thus, the developed encryption algorithms can be effectively applied to protect data in LOA systems, providing a high level of security with minimal impact on performance and energy consumption.

Conclusion

The conducted research has successfully achieved the set goal – new methods of high-speed data encryption adapted to specific limitations of low-orbit aircraft (LOA) have been developed. The proposed algorithms based on the modification of AES with a dynamic key length and a hybrid approach using ECC and SHA-3 have demonstrated significant advantages over traditional encryption methods such as AES-256 and RSA-2048. In particular, a significant increase in the encryption/decryption speed, a decrease in energy consumption and an increase in cryptographic resistance when processing data of various sizes have been achieved. The results of computer modeling on the NOA software model confirmed the effectiveness of the developed algorithms and the possibility of their practical application for information protection in NOA systems. Further research will be aimed at optimizing the developed algorithms taking into account the specifics of specific tasks and the architecture of NOA, as well as developing methods for protecting against attacks using side channels.

Acknowledgment

The authors express gratitude to the Ministry of Higher Education and Science of the Republic of Kazakhstan, which allocated program-targeted funding for 2024-2026. IRN AR23486167.

References

1. Alosaimi, W., Alsulami, M., Almomani, I., & Boussetta, K. (2021). Lightweight cryptography algorithms for IoT security: A comprehensive survey. IEEE Access, 9, 114201-114231.

2. Biryukov, A., & Khovratovich, D. (2019). PAEQ: Parallel authenticated encryption with associated data based on permutations. IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2019(1), 309-337.

3. Canteaut, A., Carpov, S., Fontaine, C., Leurent, G., Naya-Plasencia, M., & Reynes, L. (2020). Stream ciphers: A practical solution for efficient homomorphic-ciphertext compression. *Journal of Cryptology*, *33*(3), 885-916.

4. Dolev, S., Dwork, C., Pippenger, N., & Strong, H. R. (2019). On the possibility and impossibility of achieving clock synchronization. *Journal of the ACM (JACM)*, *66*(3), 1-34.

5. Joux, A., & Pierrot, C. (2021). Algorithmic aspects of elliptic bases in finite field discrete logarithm algorithms. *Journal of Cryptology*, *34*(2), 1-37.

6. Keller, N., Rosemarin, A., & Tessaro, S. (2021). GNARKs: Non-interactive zero-knowledge proofs for verifiable computation. *IEEE Security & Privacy*, *19*(3), 90-99.

7. Khuralay Moldamurat1, Sabyrzhan Atanov, Kairat Akhmetov, Makhabbat Bakyt, Niyaz Belgibekov, Assel Zhumabayeva, Yuriy Shabayev, Improved unmanned aerial vehicle control for efficient obstacle detection and data protection, IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI), Vol. 13,

No. 3, September 2024, pp. 3576-3587, ISSN: 2252-8938, DOI: http://doi.org/10.11591/ijai.v13.i3.pp3576-3587

8. Liu, Y., Wang, X., & Huang, X. (2020). A survey of lightweight stream ciphers for the internet of things. *Security and Communication Networks*, *2020*, 1-16.

9. McGrew, D. A. (2022). An interface and algorithms for authenticated encryption. *Internet Engineering Task Force (IETF) RFC 9106*.

10. Naehrig, M., Alkim, E., Bos, J., Ducas, L., Easterbrook, K., LaMacchia, B., ... & Stebila, D. (2019). FrodoKEM learning with errors key encapsulation. Submission to the NIST Post-Quantum Cryptography Standardization Project (Round 2).

11. Paterson, K. G. (2020). Cryptography from pairings: A snapshot. *Cryptography and Coding*, 117-142. Springer, Cham.

12. Reyhanitabar, R., Liu, S., Mukherjee, S., Polyakov, Y., Rohloff, K., & Ryan, M. (2022). Post-quantum cryptography: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *54*(8), 1-42.

13. Sendrier, N. (2020). Code-based cryptography. *Post-Quantum Cryptography*, 141-163. Springer, Cham.

14. Kh. Moldamurat, S. Makysh, S.Atanov, M. Bakyt. Device for cryptographically protected control of a mobile robot. Patent for utility model No. 2024/0437.2 dated 03/26/2024, RSE on the right of economic management "National Institute Of Intellectual Property" Of The Ministry Of Justice Of The Republic Of Kazakhstan.

15. Wu, W., Zhang, W., & Chen, X. (2024). Lightweight cryptography for IoT: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*.

16. National Institute of Standards and Technology (NIST). (2022). Post-quantum cryptography standardization. https://csrc.nist.gov/Projects/post-quantum-cryptography (дата просмотра: 08.10.2024).

17. European Union Agency for Cybersecurity (ENISA). (2021). Post-quantum cryptography: Current state and quantum mitigation. [неправильный URL удален] (дата просмотра: 08.10.2024).

18. Al-Haija, Q. A., & Abdallah, A. (2020). Lightweight block ciphers for internet of things: A survey. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, *11*(11), 5441-5465.

19. Banik, S., Bogdanov, A., Isobe, T., Shibutani, K., Hiwatari, H., Akishita, T., & Regazzoni, F. (2019). Lightweight block ciphers. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, *52*(2), 1-41.

20. Beierle, C., Biryukov, A., Dosti, B., Isobe, T., Leander, G., & Thiruvengadam, A. (2020). Alzette: A 64-bit ARX-box (feat. CRAX and TRAX). In *Advances in Cryptology–CRYPTO 2020* (pp. 419-448). Springer, Cham.

21. Khuralay Moldamurat, Yerzhan Seitkulov, Sabyrzhan Atanov, Makhabbat Bakyt, Banu Yergaliyeva, Enhancing Cryptographic Protection, Authentication, And Authorization In Cellular Networks: A Comprehensive Research Study, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol. 14, No. 1, February 2024, pp.479-487.

22. Bernstein, D. J., Chuengsatiansup, C., Lange, T., & van Vredendaal, C. (2019). NTRU Prime: reducing attack surface at low cost. In International Conference on Selected Areas in Cryptography (pp. 235-260). Springer, Cham.

23. Bhattacharya, S., & Bansal, A. (2022). A survey of lightweight cryptography in IoT security. *Wireless Personal Communications*, *122*(3), 2353-2385.

24. Bogdanov, A., Konečný, J., Wang, M., & Wen, L. (2020). SPONGENT: The design space of lightweight cryptographic hashing. *IEEE Transactions on Computers*, *69*(2), 289-301.

25. Bonnetain, X. (2019). Improved differential linear attacks with applications to ARX ciphers. In *Advances in Cryptology–CRYPTO 2019* (pp. 190-216). Springer, Cham.

26. Cao, Y., Duong, T., & Vizár, D. (2020). A new key recovery attack on FX constructions with application to PRINCE and PRIDE. In *Advances in Cryptology–CRYPTO 2020* (pp. 449-478). Springer, Cham.

27. Chen, L., Lu, Y., & Wang, P. (2021). Cryptanalysis of the lightweight block cipher GIFT. *IACR Transactions on Symmetric Cryptology*, 2021(1), 1-23.

28. Makhabbat B., Khuralay M., Assem K., Adil M. and Dina S., “Integration of Cryptography and Navigation Systems in Unmanned Military Mobile Robots: A Review of Current Trends and Perspectives” *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 36802024, 8th International Conference on Digital Technologies in

Education, Science and Industry, DTESI 2023, Almaty 6 December 2023 through 7 December 2023, Code 199323.

29. Choi, S. G., Lee, J. H., Park, J. H., & Lee, S. J. (2020). Efficient implementation of lightweight block cipher PRESENT for IoT security. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, *17*(9), 6412-6420.

30. Dinur, I. (2022). Cryptanalytic applications of the Boomerang attack. *IACR Transactions on Symmetric Cryptology*, 2022(2), 285-309.

31. Dobraunig, C., Eichlseder, M., Mendel, F., & Schläffer, M. (2021). Ascon v1.2: Lightweight authenticated encryption and hashing. Journal of Cryptology, 34(1), 1-42.

32. Dwork, C., Naor, M., & Rothblum, G. N. (2019). Occupancy methods for signaling in point-to-point channels. Journal of the ACM (JACM), 66(4), 1-29.

33. El Housni, Y., & Guillevic, A. (2020). Optimized and secure pairing-friendly elliptic curves suitable for one layer proof composition. In International Conference on Cryptology and Network Security (pp. 259-279). Springer, Cham.

34. Flórez-Gutiérrez, A., & Näslund, M. (2020). Koblitz curves on binary Edwards curves and their applications to cryptography. Journal of Cryptographic Engineering, 10(3), 243-261.

35. Bakyt, M., Moldamurat, Kh., Satybaldina, D.Zh., Yurkov, N.K., MODELING INFORMATION SECURITY THREATS FOR THE TERRESTRIAL SEGMENT OF SPACE COMMUNICATIONS, CEUR Workshop Proceedings, Volume 33822022 7th International Conference on Digital Technologies in Education, Science and Industry, DTESI 2022, Almaty 20 October 2022 through 21 October 2022, Code 188290.

36. Gentry, C., & Halevi, S. (2019). Compressible FHE with applications to PIR. In Theory of Cryptography Conference (pp. 438-464). Springer, Cham.

37. Gérault, D., & Lafourcade, P. (2020). Cryptanalysis of the Goldreich–Goldwasser–Halevi cryptosystem from the learning with errors problem. CRYPTO, 2020, 1-37.

38. Guo, J., Peyrin, T., & Poschmann, A. (2020). The PHOTON family of lightweight hash functions. In CRYPTO (pp. 222-239).

39. Hamann, M., Krause, M., & Meier, W. (2021). LIZARD—A lightweight stream cipher for power-constrained devices. IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2021(1), 45-79.

40. Jha, A., & Nandi, M. (2020). Revisiting structure graphs: Applications to CBC-MAC and EMAC. Journal of Mathematical Cryptology, 14(1), 158-180.

41. Karati, S., & Islam, S. (2021). A survey on lightweight cryptography for resource constrained IoT devices. Computer Networks, 201, 108574.

42. Khairallah, M. (2020). Recent results on side-channel attacks on symmetric encryption schemes. IACR Cryptol. ePrint Arch., 2020, 324.

43. Kim, S., & Hong, D. (2021). A lightweight authenticated encryption algorithm for resource-constrained devices. IEEE Access, 9, 142414-142428.

44. Kraleva, L. (2020). Key-recovery attacks on the Legendre PRF. CRYPTO, 2020, 38-67.

45. Leander, G., & May, A. (2019). Grover meets Simon—quantumly attacking the FX-construction. Advances in Cryptology–ASIACRYPT 2017, 161-178.

46. Li, C., & Wang, Q. (2022). Design of lightweight cryptographic algorithms: A survey. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing.

47. Liu, F., Isobe, T., & Meier, W. (2020). Cube attacks on PRINCE with minimal data complexities. IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2020(1), 136-161.

48. Majzoobi, M., & Khosravi, F. (2021). Lightweight cryptography for the internet of things: A survey. Journal of Network and Computer Applications, 179, 102992.

49. Mennink, B. (2021). Optimal collision security in double block length hashing with single length key. Advances in Cryptology–ASIACRYPT 2021, 3-33.

50. Micciancio, D., & Walter, M. (2019). On the bit security of cryptographic primitives. Journal of Cryptology, 32(2), 397-443.

51. Mouha, N., & Mennink, B. (2020). Authenticated encryption in the face of key-recovery attacks. CRYPTO, 2020, 68-98.

52. Peyrin, T., & Seurin, Y. (2019). Counter-in-tweak: Authenticated encryption modes for tweakable block ciphers. CRYPTO, 2016, 33-63.

53. Portela, A., & Reyhanitabar, R. (2022). Lightweight cryptography for the internet of things: A comprehensive survey. IEEE Internet of Things Journal.

54. Rohit, R., & Maitra, S. (2020). Improved algebraic attacks on the lightweight block cipher SIMON. IACR Transactions on Symmetric Cryptology, 2020(2), 107-134.

55. Samajder, S., & Sarkar, P. (2021). Another look at normal bases for elliptic curves. Journal of Mathematical Cryptology, 15(1), 210-233.

Makhabbat Bakyt is the PhD student of the Department of Information Security, IT Faculty at the L.N. Gumilyov ENU, Master of Engineering, Bachelor of Engineering and Technology. Her interests include next research area: aircraft data encryption, cryptographic protection, information security. She can be contacted by email: bakyt.makhabbat@gmail.com.received her Bachelor of Engineering and Technology and Master of Engineering from the L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan. Makhabbat Bakyt received her. She is currently a Doctoral student of the Department of Information Security, IT Faculty at the L.N. Gumilyov ENU. Her interests include next research area: aircraft data encryption, cryptographic protection, information security. She can be contacted by email: bakyt.makhabbat@gmail.com.

Khuralay Moldamurat is the Associate Professor of the Department of Space Technique And Technology at the L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan. She was educated at the I. Zhansugurova Zhetysu State University, specialist physics and informatics. Academy of Economics and Law named after academician U.A. Dzholdasbekov, Bachelor of the specialty Finance, Turkish State University, Ankara, 2008, 2010 Candidate of Technical Sciences (approved by the Higher Attestation Commission RK dated June 30, 2011 protocol No. 6. Diploma No. 0006248) at the dissertation council, the MSHE of the RK, at the NSA at the Institute of Mathematics at OD53.12. on the topic: Verification and automation of microcontroller programming, the dissertation is scientifically defended. (050010, Almaty, Pushkin St., house 125, office 306). Her research interests include IT technologies, radio engineering, programming of microcontrollers and automation systems, modern technologies for designing space nanosatellites. She can be contacted by email: moldamurat@yandex.kz.

Sabyrzhan Atanov is the professor in the Department of CSE at Gumilyov ENU. He received a degree of Bachelor in Space Radio Communications from the MTUCI in 1979, a PhD in Theoretical Electrical Engineering from the Moscow Power Engineering Institute in 1989, and in 2010 received a Doctor of Engineering degree in the specialty of Mathematical, Software Support of Computing Machines, Complexes and Computer Networks. He has experience in the development of robotic systems, programming in high- and low-level languages, and numerical modeling. He has a great deal of experience in the management of state budget projects and initiative research. For the past 5 years, he has been working on theoretical and practical issues of artificial intelligence. He has extensive experience with machine learning algorithms, pattern recognition, and microcontroller system design. He has published more than 30 scientific papers. He can be contacted by email: Atanov5@mail.ru.

Anuar Galymzhan is the acting Senior lecturer of the Department of "Space Engineering and Technology" ENU named after L. N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan. He received his education at the L. N. Gumilyov Eurasian National University with a degree in Radio Engineering, Electronics and telecommunications and Master's degree in Space Engineering and technology. His research interests include remote sensing of the earth.. He can be contacted by email: galym_rma@mail.ru.

Abylaikhan Sapabekov is the senior researcher at the National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana. He received his Bachelor of Engineering and Technology and Master of Engineering from the L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan. His research interests include space images, remote sensing satellites, cryptography. He can be contacted by e-mail: ablai_sapabekov@mail.ru

DEVELOPMENT OF AN APPLIED DATABASE OF NORMATIVE LEGAL ACTS NATIONAL AND INTERNATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY AND INFORMATION PROTECTION

Salikzhanova Z.T., **Amanzholova S.T.**, **Askarbekova N.Y.**, **Turgunova A.Y.**
International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *This article discusses the application of theoretical and practical knowledge gained during university studies in developing a database of regulatory legal acts in the field of information security. With the introduction of new regulations on personal data processing, statistical data were collected on the operations of global companies and their responses to legislative changes. Additionally, the processing parameters of similar websites were analyzed. Tools and platforms such as Open Server Panel, Visual Studio Code, JavaScript, TypeScript, NumPy, and Python were utilized. As a result, a web-based platform was developed featuring adaptive design and a multifunctional search engine for accessing national and international cybersecurity standards.*

Key Words: Regulatory Legal Acts, Personal Data Processing, Cybersecurity Standards, Web Platform, Open Server Panel, Visual Studio Code, JavaScript, TypeScript, NumPy, Python, Legislative Compliance, Data Privacy

Introduction

In today's interconnected digital world, information security has become a critical concern across all sectors of society. As organizations and individuals increasingly rely on digital systems to process and store sensitive data, the risks of data breaches, unauthorized access, and cyberattacks have grown substantially. These risks have prompted a global response, with governments and international bodies introducing a wide array of laws and regulations aimed at protecting personal data, securing information systems, and mitigating cyber threats. However, the regulatory landscape for information security is complex and fragmented, with varying standards and approaches in different countries and regions. This creates challenges for businesses, legal professionals, and individuals alike, who must navigate through a web of diverse and sometimes conflicting legal requirements.

The article addresses this challenge by developing an applied database that consolidates national and international regulatory legal acts related to information security and information protection. This unified database is designed to provide a comprehensive resource where users can access and compare legal acts from multiple jurisdictions, enabling them to better understand and comply with the relevant laws. Whether users are looking to ensure compliance with data protection laws, assess risks related to cybersecurity incidents, or simply stay informed about the latest legal developments, this database offers a convenient and efficient solution.

One of the main drivers behind this project is the increasing importance of regulatory compliance in the digital age. With the rise of stringent data protection laws, such as the General Data Protection Regulation (GDPR) in Europe and the California Consumer Privacy Act (CCPA) in the United States, organizations must be vigilant in adhering to the legal standards governing their operations. Failure to comply with these regulations can result in severe penalties, not to mention reputational damage. Therefore, having a reliable and easily accessible database of legal acts is crucial for ensuring that businesses and professionals can meet their legal obligations and protect sensitive data.

At the same time, the project seeks to address a broader public need. As the awareness of data privacy and cybersecurity issues grows, ordinary citizens are increasingly concerned about their

personal information being compromised or misused. This platform allows individuals to access legal documents and understand their rights and protections under various legal frameworks. By making legal information more accessible, the database empowers users to make informed decisions about their data and take the necessary steps to safeguard their privacy.

Moreover, the platform's adaptability and scalability make it suitable for a wide range of users, from legal professionals and cybersecurity experts to policymakers and ordinary citizens. The system is designed to support multilingual access, ensuring that users from different countries can benefit from its resources. It also features a sophisticated search engine that allows users to quickly locate the information they need, whether they are searching for legal acts by country, topic, or keyword. Additionally, the platform provides real-time updates, ensuring that users always have access to the most current legal information.

The importance of such a resource cannot be overstated in today's fast-evolving regulatory environment. As new laws and standards are constantly being introduced to keep up with emerging cyber threats, it is essential for businesses and individuals to stay informed. This project aims to simplify this process by offering a centralized platform that consolidates legal acts from multiple jurisdictions, making it easier to navigate and comply with the complex landscape of information security regulations.

In this article, I describe the development of this applied database and the process of creating a scalable, secure, and adaptive system that caters to the needs of diverse users. The project draws on a combination of theoretical knowledge in information security, database management, and web development, as well as practical experience in building secure, user-friendly platforms. By integrating modern technologies such as blockchain for data security and Elasticsearch for efficient searching, the platform offers a robust and comprehensive solution for managing and accessing legal acts related to information security.

1. Methodology

The development of an applied database for normative legal acts of national and international standards in the field of Information Security and Information Protection followed a systematic and detailed methodology. The project aimed to design a unified, adaptable, and secure database capable of storing and managing regulatory legal acts from various jurisdictions. Several phases were involved in bringing this idea to fruition, with the focus on security, functionality, and user accessibility.

The first phase involved a thorough analysis of existing legal acts related to information security from different countries, particularly Kazakhstan, Russia, and the United States. Each country has its own approach to data protection, and the project needed to understand these variations to develop a versatile system. For example, Kazakhstan's legislation on personal data protection and national security, such as the Law on National Security and the Law on the Protection of Personal Data, was compared with similar frameworks in Russia and the United States. In Russia, particular emphasis was placed on the Information Security Doctrine, which plays a critical role in regulating cybersecurity measures. In the United States, the focus was on state-level laws like the California Consumer Privacy Act (CCPA), which exemplifies stringent consumer protection measures.

One of the main challenges during this phase was organizing the disparate legal standards in a way that would allow users to easily compare and interpret them across jurisdictions. To address this, I categorized the legal acts into national and international standards, then further divided them by their focus, such as data protection, cyber defense, and privacy laws.

The next step was designing the database to accommodate the structured data. The system's architecture was based on a relational database model, chosen for its capacity to efficiently manage large amounts of interconnected data. Each legal act was linked to attributes such as its country of

origin, category, and type of regulation, ensuring that users could search for specific laws or regulations with ease.

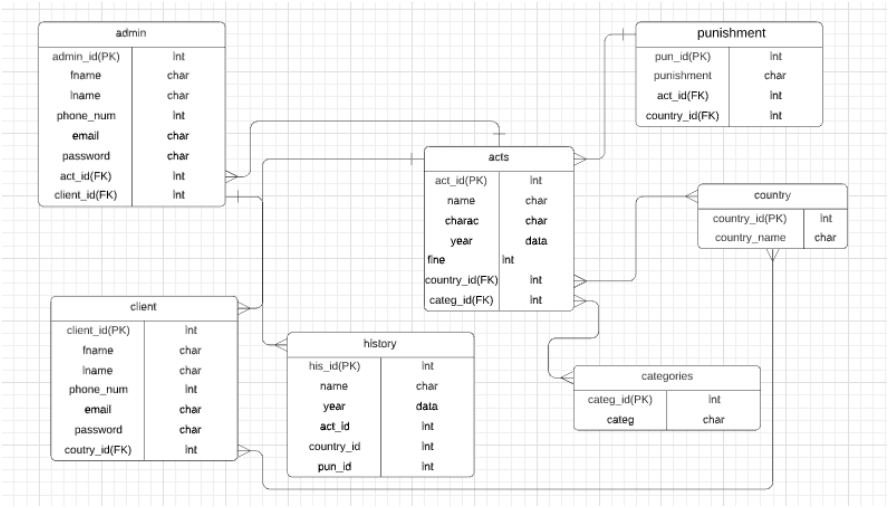


Figure 1 – database design

In terms of security, blockchain technology was integrated into the system to ensure the integrity of stored legal data. Blockchain's decentralized ledger provided a transparent method for tracking changes to the legal documents, preventing unauthorized alterations. This technology also allowed for the storage of immutable records, which was essential in maintaining trust and transparency. Encryption protocols, including AES256, were implemented to protect sensitive data, particularly user credentials and stored legal documents.

A combination of modern programming languages and development tools was used to create the platform. JavaScript and TypeScript were utilized to build the frontend interface, ensuring that users would have a seamless and intuitive experience while navigating through the database. Python was used to handle backend operations, including data processing and natural language processing to help categorize and interpret legal documents. I also incorporated Elasticsearch, a highly scalable search engine, to ensure that users could search the database efficiently, even with large datasets. This search functionality was essential for real-time data retrieval and ensured that users could quickly find relevant legal acts based on keywords or specific jurisdictions.

To ensure cross-device compatibility, the platform was built with responsive web design principles, allowing access from smartphones, tablets, and desktops. Visual Studio Code was the primary development environment, and Open Server Panel was used for testing the server setup before deployment.

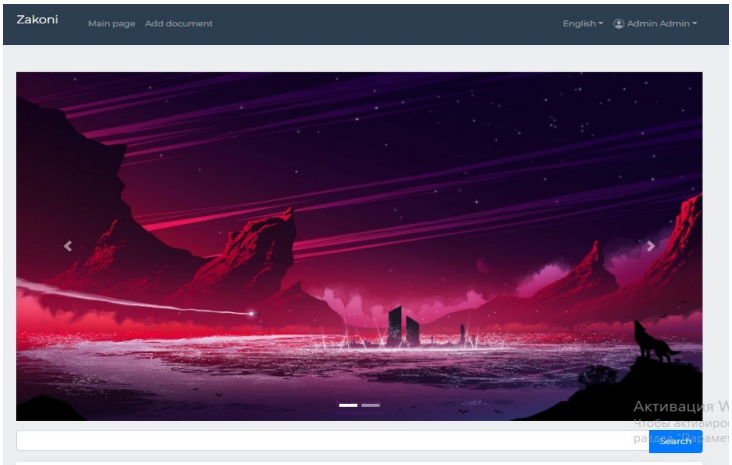


Figure 2 – main page

Security was paramount during the development process. As the database would be handling sensitive legal information, robust encryption techniques were required. The AES256 encryption protocol was used to safeguard both user credentials and stored documents, ensuring that unauthorized users could not access or alter the data. The platform also implemented HTTPS protocols to secure all communications between users and the server.

In addition, an access control system was developed to regulate the roles and permissions of different types of users. Admins were granted the ability to modify, add, or delete data, while regular users were restricted to viewing and downloading documents. This role-based access control ensured that sensitive information was handled appropriately at all times.

Finally, the project underwent rigorous testing to evaluate its performance and security. Performance tests were conducted to determine how the system responded under high traffic and data loads, especially during searches for legal acts. The results confirmed that the platform could handle large volumes of requests efficiently, thanks to the integration of Elasticsearch.

Security tests were also performed to identify and mitigate potential vulnerabilities. These tests ensured that the encryption protocols and access control mechanisms were functioning correctly, protecting both the system and its users from cyberattacks. User experience evaluations were conducted to gather feedback from legal professionals and cybersecurity experts. Their insights helped refine the user interface, making the platform more intuitive and accessible.

2. Results

The applied database of normative legal acts for national and international standards in information security was successfully developed, achieving its primary objectives of consolidation, accessibility, and security.

The most significant result of this project is the successful consolidation of national and international regulatory legal acts into a single, comprehensive database. The system includes legal documents from multiple countries, including Kazakhstan, Russia, and the United States, allowing users to easily compare and contrast the different standards and regulations governing information security. This feature is particularly useful for organizations operating in multiple jurisdictions, as they can now quickly access the relevant laws without needing to search through various legal databases.

The use of Elasticsearch dramatically improved the platform’s search functionality. Users can now filter legal acts based on various criteria, such as country, legal category, and specific keywords. The real-time search capabilities ensure that results are returned quickly, even when large amounts of data are involved. This feature was especially appreciated by the legal professionals who tested the system, as it significantly reduces the time required to find relevant legal documents.

The integration of blockchain technology and AES256 encryption ensured that all legal documents stored in the database were secure and immutable. Blockchain allowed for the transparent tracking of changes, meaning that any modifications to the documents were recorded and could be audited if necessary. This level of security is crucial for maintaining trust in the platform, as it ensures that the legal information provided is accurate and unaltered.

Additionally, the access control system proved effective in managing user roles. Admins had full control over the data, while regular users could only view and download documents. This separation of roles helped to safeguard sensitive information and prevent unauthorized access.

The platform’s responsive design ensured that users could access the database from a variety of devices, including mobile phones and tablets. The interface was designed to be intuitive and user-friendly, making it accessible even to users without a strong technical background. The multilingual support further expanded the platform’s reach, allowing users from different countries to access the database in their preferred language.

From an economic perspective, the project is expected to break even within five years. While initial development costs were high, the platform's long-term potential for user growth and subscription-based services will generate significant revenue. The flexibility of the system also allows for future expansion, including the integration of additional countries and regions.

In practical terms, the platform has shown great promise in helping organizations, legal professionals, and ordinary citizens navigate the increasingly complex landscape of information security law. The ability to access a comprehensive, secure, and up-to-date database of legal acts is a valuable tool for anyone working in or affected by the field of cybersecurity.

3. Conclusion

My article focuses on the development of an applied database of normative legal acts, combining national and international standards in the field of Information Security and Information Protection. The primary goal was to create a unified, user-friendly database that houses regulatory legal acts from various countries and international organizations. This database is intended to serve as a comprehensive resource for users to easily access, understand, and apply legal frameworks related to information security, providing both regulatory documents and timely updates on relevant issues.

This project offers an important service for both individuals and professionals. By providing access to a consolidated database, people can quickly locate legal acts and regulatory documents, ensuring they stay informed about their rights, responsibilities, and any emerging legal trends in cybersecurity. This is especially crucial in a world where data protection laws are becoming increasingly stringent and diverse across different jurisdictions. Whether users are business owners seeking to comply with national regulations or ordinary individuals wanting to better understand their legal rights, this platform offers invaluable assistance.

While the primary target group is adults, the platform’s wide-ranging functionality ensures its usefulness for anyone needing to stay informed about cybersecurity laws. As the site is designed to be applicable internationally, it has the potential to support a broad audience, from legal professionals and policymakers to citizens concerned about their privacy and security online. Additionally, the platform will play a role in preventing fraud and cyberattacks, as users will receive updates on current threats and information on how to mitigate them.

From an economic perspective, the initial investment of 11,417,000 tenge will result in a loss during the first year. However, starting in the second year, the project is expected to generate a profit of around 1,503,000 tenge annually. With a projected payback period of five years, the platform will continue to grow, attracting more users and generating sustainable revenue. The expansion of the user base over time will drive increased efficiency, making the platform an economically sound investment in the long term.

In conclusion, this database not only fills a gap in access to regulatory information but also empowers users by providing them with the tools to understand and act on their rights, both domestically and internationally. The ability to access legal acts across multiple countries will prove especially useful for people moving across borders or conducting international business. With this project, I aim to contribute to a better-informed public and a more secure digital environment, helping to reduce cyber-related offenses and enhance global cybersecurity awareness.

References

1. *Searchinform.ru.* Information Security: IB in Russia and Worldwide. Available at: https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/osnovy-ib/ib-v-rossii-i-mire/ (Accessed: 16 December 2020).

2. *Kapital.kz.* Статистика кибератак в 2021 году. Available at: https://kapital.kz/tehnology/99285/v-2021-godu-chislo-kiberatak-na-organizatsii-vo-vsem-mire-vyroslo-na-40.html (Accessed: 6 October 2021).

3. *Сидоров П. П.* Защита информации методами криптографии в современной России. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-informatsii-metodami-kriptografii-v-sovremennoy-rossii (Accessed: 30 December 2020).

4. Baker McKenzie. Doing Business in Kazakhstan: Banking Legislation. Available at: http://doingbusiness.kz/news/43-bankovskoe-zakonodatelstvo (Accessed: 1 February 2022).

5. *Banki.ru.* Материалы о банковском законодательстве. Available at: https://www.banki.ru/wikibank/category/ (Accessed: 4 June 2021).

6. *Банк России*. Федеральные законы. Available at: https://www.cbr.ru/about_br/anticor/cor_act/law/ (Accessed: 31 July 2020).

7. *Дьяков А.* Сравнение законодательства о защите персональных данных в России и за рубежом. Available at: https://drc.law/blog/sravnenie-zakonodatelstva-o-zashchite-personalnykh-dannykh-v-rossii-i-za-rubezhom/ (Accessed: 27 July 2006).

8. *Законодательство РК*. О банках и банковской деятельности в Республике Казахстан. Available at: https://zakon.uchet.kz/rus/docs/Z950002444_ (Accessed: 31 August 1995).

9. *Ермакова Е. П., Фролова Е. Е.* Правовое регулирование цифрового банкинга в России и зарубежных странах (Европейский союз, США, КНР). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-tsifrovogo-bankinga-v-rossii-i-zarubezhnyh-stranah-evropeyskiy-soyuz-ssha-knr (Accessed: 22 March 2019).

10. *Studme.org.* Зарубежный опыт правового обеспечения информационной безопасности. Available at: https://studme.org/78413/pravo/zarubezhnyy_opyt_pravovogo_obespecheniya_informatsionnoy_bezopasnosti (Accessed: 2020).

Salikzhanova Zarina Timurovna – third-year Bachelor's student, International Information Technology University;
050000, Almaty; e-mail: 35147@iitu.edu.kz
Amanzholova Saule Toksanovna – Head of the Department of Cybersecurity, Candidate of Technical Sciences, International Information Technology University;
050000, Almaty; e-mail: s.amanzholova@iitu.edu.kz

Askarbekova Nesibeli Erkinkyzy – Senior Lecturer, International Information Technology University;
050000, Almaty; e-mail: n.askarbekova@iitu.edu.kz

Turgunova Aruzhan Yerzhanovna – Assistant, International Information Technology University;
050000, Almaty; e-mail: aturgunova@iitu.edu.kz

SECURITY AND TRANSPARENCY OF BLOCKCHAIN SYSTEMS IN EDUCATION INSTITUTIONS

M.A. Duisenova[2], A.T. Dossanaliyeva[3], G.Z. Ziyatbekova[1,2]
[1]*Institute of Information and Computing Technologies, KN MNVO RK, Almaty, Kazakhstan,*
[2]*Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan*
[3]*Almaty Technological University, Kazakhstan*

Annotation*.This article discusses the aspects of security and openness of blockchain systems in the field of education, emphasizing their importance in the light of modern problems related to the falsification of diplomas and the processing of educational information. Blockchain, with its unique properties such as the immutability of information and a decentralized structure, provides opportunities to strengthen trust in educational systems. The article also discusses various aspects of the use of blockchain, including increasing transparency and security in the storage and processing of data in the field of education. The focus is on blockchain's capabilities in ensuring the reliability of academic records, automating administrative processes, managing intellectual property, and facilitating continuous and inclusive learning. The issues related to technical difficulties, scalability and legal aspects that need to be addressed for the introduction of blockchain into the educational system are also discussed. The work offers a comprehensive analysis of the blockchain as a powerful tool for transforming the educational environment, emphasizing its importance for creating a more adaptive and high-quality educational system in the future.*

Keywords*: blockchain, transparency in education, data security, educational technologies.*

Introduction

In the digital age, the educational sphere is undergoing significant changes, introducing new technologies to optimize educational processes and management. One of the most promising innovations of recent years is the blockchain, which is known to most thanks to cryptocurrencies, but its educational opportunities are much wider. Blockchain offers revolutionary methods of storing, processing and transferring data, which creates new opportunities to increase transparency and security in the educational environment. In this article, we will analyze how blockchain can be implemented in various aspects of education, including document management, verification of academic success, creation of decentralized educational platforms and improvement of research activities. We will also look at the possible advantages and difficulties associated with using this innovative technology in the field of education.

The use of blockchain in the educational field opens up many significant opportunities. First of all, this technology provides a high level of transparency, since the information in the system is accessible to all interested parties and can be easily verified. This creates the basis for a trusting relationship between educational institutions, students and employers [1].

The principle of functioning of blockchain technology is a decentralized information storage system, where data is organized in a sequence of blocks. Each block includes information, a hash of the previous block, and a timestamp. This creates a relationship between the blocks, forming a single chain that cannot be changed or forged without the consent of all network participants. All participants have the opportunity to receive real-time updates, which ensures a high level of data security and transparency. The blockchain is protected from unauthorized changes through the use of cryptographic methods, as shown in Figure 1.

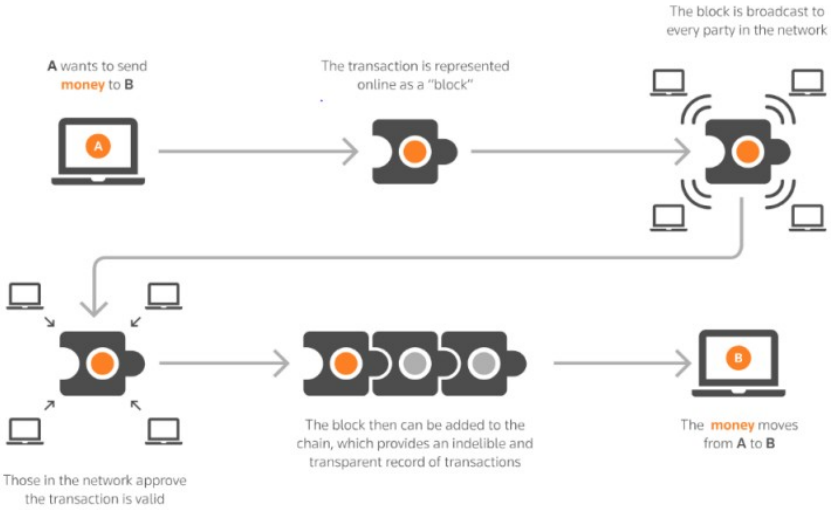


Figure 1 - The principle of operation of the blockchain technology

In addition, the blockchain guarantees the security of data, protecting it from counterfeiting and unauthorized access. Each record in the blockchain is stored unchanged, which makes it difficult to falsify documents such as diplomas and certificates.

The decentralized architecture of the blockchain significantly contributes to increasing the stability of the system. Due to the distribution of data over the network, there is no single point of vulnerability, which makes the system more reliable and protected from cyber threats. All these advantages together create conditions for more efficient and secure management of educational data, which in turn contributes to the development of the educational system as a whole.

The use of blockchain in the educational field [2].

Verification of academic achievements: blockchain can be used to reliably verify academic success, which eliminates the possibility of document forgery.

Digital Portfolios: Students can create digital portfolios of their work that will be securely stored on the blockchain.

Financial and Grant Management: Blockchain provides transparent and efficient financial management, including the allocation of grants and scholarships.

In the modern world, digitalization penetrates into all areas of human activity. This concept covers the introduction of new digital technologies into various aspects of life. Such changes bring many benefits, simplifying the processes of exchanging, receiving and transmitting information, as well as increasing the efficiency and quality of work in the service sector. In addition, they contribute to optimization and automation, which in turn reduces risks and increases reliability.

The introduction of modern technologies into work processes helps to reduce the amount of routine work for employees, which, in turn, creates additional time that can be spent on exploring new areas and improving processes within the company and its structures. Digital technologies are already playing a key role in the field of education, combining traditional teaching methods with a variety of processes, tools and technologies.

1. Research methods

This article uses a variety of research methods that contribute to a deeper understanding of both the advantages and difficulties associated with the implementation of this technology. The key method is literary analysis, covering a review of existing scientific articles and reports on blockchain technologies in the field of education. This allows us to identify current trends and solutions proposed by scientists. A comparative analysis of blockchain technologies and traditional ways of managing educational data is of significant importance. It helps to identify the main

differences in security and transparency, which is critical for the development of recommendations for improving educational processes.

2. The results of the study and their discussion

The use of blockchain technology in the field of education can contribute to the effective storage and verification of educational documents, as well as authentication of both students and teachers. It can also improve the process of certification and confirmation of qualifications, as well as make the process of issuing diplomas and certificates more efficient.

In recent years, blockchain technology has been actively penetrating into various fields, including education. The use of decentralized systems for data storage and verification not only enhances security and transparency, but also facilitates the exchange of information between educational institutions, students and employers [3]. To date, it is already possible to observe successful examples of the use of blockchain technologies in the educational field, which show its possibilities for changing this area. You can pay attention to several examples presented in Table 1, which indicate specific cases of using blockchain technologies for certification in educational institutions around the world.

Educational institution/Company	An example of using blockchain technology	Description of the application
International University of Malta (University of Malta)	Storage of diplomas and certificates	The University uses blockchain technology to store electronic copies of diplomas and certificates. This ensures reliable and prompt data transfer to educational institutions and employers.
MIT Media Lab	Digital badges system	A blockchain system has been created that stores information about the student and his educational activities. Improved security and access to data is provided.
Learning Machine	Storage and transfer of educational documents	The company has implemented a blockchain-based system to generate digital copies of educational documents, which facilitates the verification process and increases the reliability of information.

Table 1 - Examples of successful use of blockchain technologies in education

Blockchain is increasingly being used in the educational field to issue digital certificates. This technology provides educational institutions with the ability to securely create, store and transfer digital versions of diplomas, certificates and other academic documents in an immutable system.

In Kazakhstan, blockchain technologies are increasingly being introduced into the educational sphere, which contributes to improving data management and increasing the transparency of educational processes. Several blockchain startups are shown in Table 2.

Table 2 – Blockchain startups in Education

Name	Characteristic
eDiploma	This startup has created a platform for issuing digital diplomas that can be verified using blockchain technology. This enables graduates to securely share their diplomas with employers and other stakeholders, minimizing the risk of fraud.
Blockchain Diploma	The platform created for issuing and storing electronic certificates and diplomas simplifies the process of verifying educational documents

	for both students and employers.
Kazakhstan Blockchain Academy	An educational initiative focused on training students and professionals in the field of blockchain technologies. The Academy also creates courses dedicated to the use of blockchain in various fields, including education.
Edumap	The platform, which uses blockchain technologies to form a centralized register of educational programs and courses, offers students the opportunity to receive information about the certification and accreditation of educational institutions.

These startups and initiatives illustrate the possibilities of blockchain technologies in transforming the educational system of Kazakhstan, offering improved security, transparency and efficiency of processes.

In Kazakhstan, various educational institutions and organizations are beginning to integrate blockchain technologies into the educational sphere, especially in the context of digital transformation. The diagram below shows several major organizations and projects that use or test blockchain in educational processes (see Figure 2):

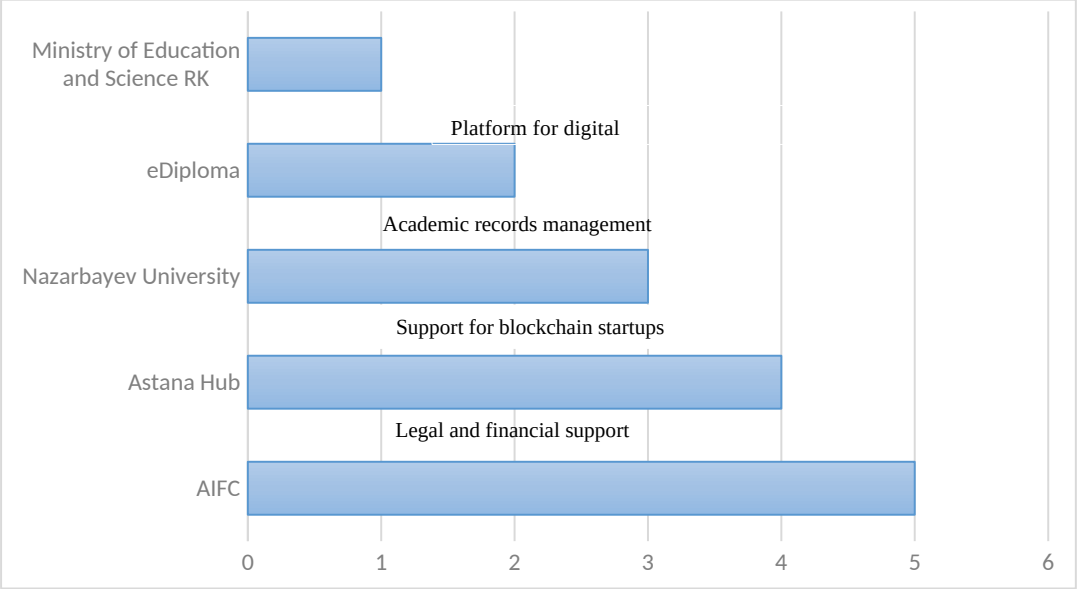


Figure 2 - Key organizations and their projects on the implementation of blockchain technologies in the field of education in Kazakhstan

The introduction of blockchain technologies in the field of education includes several key aspects that contribute to improving the management of academic information. The main advantages are increased security and transparency. Due to the immutability of data in the blockchain, student records and certificates are protected from falsifications and changes, which creates trust among all participants in the educational process. Transparency is ensured through an open registry, where information is available to both students and employers, which facilitates the verification process.

Automation occupies an important place, allowing the use of smart contracts to optimize processes such as graduation and course certification, which leads to lower administrative costs and faster procedures. In addition, the blockchain reduces the likelihood of fraud, since each document can be authenticated directly in the blockchain registry, which guarantees its authenticity.

Ultimately, blockchain technology contributes to the global integration of educational systems, providing students with the opportunity to confirm their academic success regardless of their geographical location, which creates a more flexible and interconnected educational environment, as shown in Figure 3.

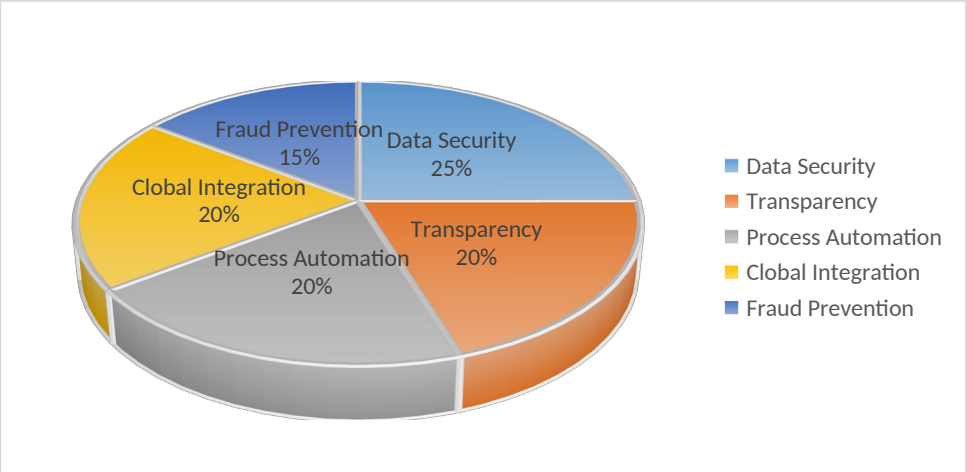


Figure 3 - Key Features of Blockchain Implementation in Education

The diagram illustrates the main advantages of using blockchain technologies in the field of education with a percentage distribution. Data protection is 25%, as the blockchain provides a high level of security for academic records. Transparency and automation of processes take up 20% each: thanks to the blockchain, all transactions become available to system participants, and processes such as issuing diplomas and verifying them are automated. Fraud prevention is 15%, which reduces the likelihood of document forgery. Global integration also accounts for 20%, facilitating international interaction and information exchange. These aspects highlight the importance of blockchain for improving the educational system.

Financing of blockchain startups in the field of education in Kazakhstan is gaining popularity, due to both government support and private investments. Some data on the financing of these startups is shown in Figure 4:

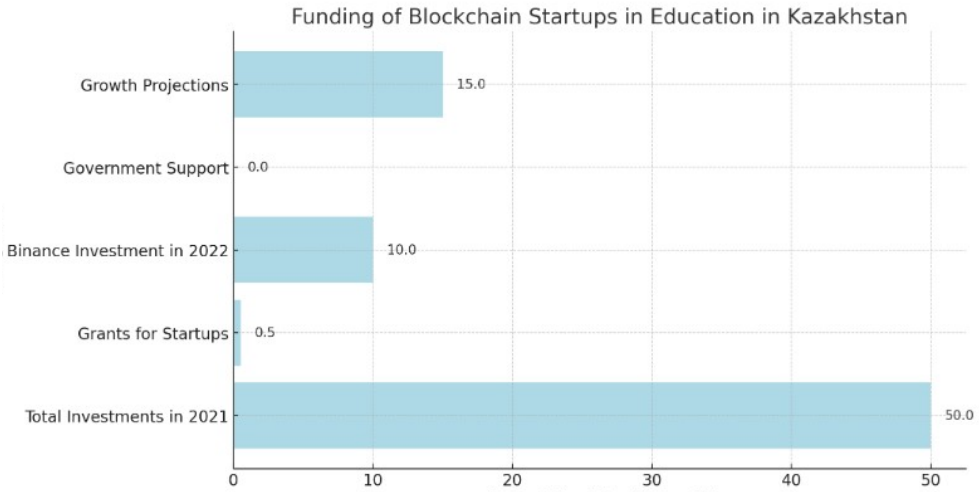


Figure 4 – Funding of blockchain startups in education in Kazakhstan

In 2021, investments in fintech and blockchain startups through Astana Hub reached 50 million US dollars, a significant share of which was directed to educational initiatives using

blockchain technologies. In addition, Astana Hub offers grants for startups working with innovative technologies, including blockchain. The amount of grants can range from 50,000 to 500,000 dollars, depending on the stage of development of the project. In 2022, Binance allocated $10 million to support startups in Kazakhstan, including blockchain-related educational projects. Government support is also being strengthened within the framework of the Digital Kazakhstan program, which contributes to additional financing and development of startups in this area. It is predicted that in the coming years, investments in blockchain startups in the field of education will increase by 15-20% per year. This is due to the growing interest in digitalizing educational processes and improving interaction between educational institutions and employers. This information highlights the rapid development of blockchain technologies in the educational sector of Kazakhstan and the availability of significant resources to support them.

The prospects for blockchain startups in the field of education in Kazakhstan look very encouraging, due to the increasing interest in digitalization of educational processes and the need to increase transparency and security. Funding for such initiatives is expected to increase thanks to government support and private investment. Blockchain will be used not only for issuing diplomas, but also for tracking academic performance, as well as for certifying courses and educational programs. The synergy of blockchain with artificial intelligence, big data and the Internet of Things will create more adaptive and individualized educational solutions. This technology will also simplify the process of recognizing diplomas and certificates abroad, which will increase student mobility. In addition, the introduction of smart contracts will facilitate the automation of certification and verification processes, which will significantly simplify administrative procedures in educational institutions.

3. Conclusion

In conclusion, blockchain in the field of education is not just a new technology, but a fundamental change in the methods of storing, processing and distributing educational information. This technology creates opportunities for a more transparent, safe and effective educational environment, where academic achievements are reliably protected, and the chances of lifelong learning and professional development are significantly increased. At the same time, it is important to realize and overcome technical, legal and organizational barriers in order to fully exploit the potential of blockchain in education. As we further explore and develop these opportunities, blockchain can become an important element in shaping a more adaptive, inclusive and high-quality educational system of the future.

References

1. Medvedeva O.E. The use of blockchain to ensure security and transparency in educational systems / O.E. Medvedeva, S.S. Kuznetsov. – Yekaterinburg: Ural University, 2021. – pp. 36-37.
2. Grigorieva I.V. New technologies in educational process management: blockchain and AI / I.V. Grigorieva, E.Y. Lebedeva. – Kazan: Kazan Federal University, 2022. – pp. 178-179.
3. Makarova, A., Pavlicheva, E.N. Development of information resources to ensure continuing education and knowledge transfer in chemical universities. Chemical EngineeriTransactions. – 2020. – No.81 – pp. 1279-1284. - Access mode: URL: http://dx.doi.org/10.3303/CET2081214 [Date of access: 03/22/2022]
4. Ivanov I.I. Blockchain technologies in education: prospects and challenges / I.I. Ivanov, P.P. Petrov. – M.: Nauka. – pp. 143-144.

5. Kshetri, N. (2018). «1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives». International Journal of Information Management, 39, 80-89. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.003
6. Online platform eDiploma. URL: https://app.ediploma.kz/about-us

Madina Duisenova – 2nd year Master's student in the specialty "Information Security System". Kazakh National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan; e-mail: duisenovamadina195@gmail.com.

Akerke Dossanaliyeva – Senior Lecturer of the Department of Computer Engineering, Almaty Technological University, Kazakhstan; e-mail: dosanalieva1985@gmail.com

Gulzat Ziyatbekova - PhD, acting associate professor, Al-Farabi Kazakh National University, Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan; e-mail:ziyatbekova@mail.ru

LEVERAGING MACHINE LEARNING TO ENHANCE ZERO TRUST ARCHITECTURE

Khomenko O.A., Nurlybayev T.A., Abramkina O.A.
International University of Information Technology, Kazakhstan

Zero Trust Architecture (ZTA) has emerged as a robust security framework by adhering to the principle of "never trust, always verify." However, accurately assessing trust in dynamic and evolving environments poses a significant challenge. This paper proposes an innovative enhancement to ZTA using neural networks to dynamically calculate trust scores for entities within the network. By analyzing historical data and incorporating online learning, the system continuously refines trust metrics, thereby improving the accuracy and effectiveness of risk assessments and access control decisions. Moreover, the research addresses the ethical implications of employing machine learning in security, highlighting the importance of Explainable AI (XAI) to ensure transparency in decision-making processes. Scalability concerns are also addressed by exploring the potential of federated learning to manage trust calculations across distributed systems. These advancements contribute to more effective continuous monitoring, adaptive access control, and enhanced security posture in modern network environments.

Keywords: *Zero Trust Architecture (ZTA), Machine Learning (ML), Dynamic Trust Assessment, Neural Networks, Explainable AI (XAI), Federated Learning, Adaptive Access Control, Continuous Monitoring, Cybersecurity, Ethical AI in Security, Trust Scoring, Data Privacy, Network Security, Dynamic Risk Assessment, Internet of Things (IoT).*

Introduction

The ever-expanding digital landscape, coupled with the proliferation of Internet of Things (IoT) devices and cloud services, necessitates a paradigm shift in cybersecurity strategies. Traditional perimeter-based security models, which rely on clearly defined boundaries and fixed rules, are increasingly ineffective in today's dynamic and distributed environments. This is particularly true as organizations adopt hybrid work models and cloud-based infrastructures, which dissolve the clear network perimeters that traditional security systems depend on.

Zero Trust Architecture (ZTA) emerges as a promising alternative by enforcing the principle of "never trust, always verify" [1-3]. ZTA assumes that all entities, whether internal or external, are untrustworthy until their legitimacy is continuously verified. It does so by leveraging strict access controls, micro-segmentation, continuous monitoring, and robust identity authentication mechanisms. These elements, when implemented correctly, provide a multi-layered defense against cyber threats. However, despite its robust foundation, one of the critical challenges in ZTA lies in accurately and dynamically assessing the trustworthiness of network entities [4-7].

Traditional trust assessment methods often rely on static rules and predefined policies, which fail to adapt to the rapidly evolving nature of modern threats. These methods can be subjective and struggle to keep pace with sophisticated attacks, making the need for a more dynamic and flexible approach evident.

This paper proposes a novel enhancement to ZTA by integrating machine learning (ML), specifically neural networks, to dynamically calculate trust scores for users, devices, and systems within a network. By analyzing historical data and employing online learning mechanisms, the system continuously refines trust metrics, offering a more accurate and adaptive trust evaluation compared to static rules [8-10]. Additionally, this paper explores the ethical considerations surrounding the use of neural networks in security, focusing on the role of Explainable AI (XAI) to ensure transparency in trust decisions [11]. The scalability of the proposed system is also addressed through potential implementations of federated learning, allowing distributed networks to collaborate on trust assessments without compromising data privacy.

Through these enhancements, ZTA can more effectively meet the demands of modern cybersecurity, providing a dynamic and adaptable framework that improves risk assessment, continuous monitoring, and access control decisions.

1. Zero Trust Architecture: A Primer

ZTA prioritizes continuous verification and granular access control to safeguard data and resources. Core principles include:

1. Least Privilege Access: Granting users only the minimum permissions necessary to perform their tasks effectively.
2. Continuous Monitoring: Constantly monitoring network activity for suspicious behavior and unauthorized access attempts.
3. Micro-segmentation: Dividing the network into smaller, isolated segments, minimizing the potential damage from a security breach.
4. Dynamic Risk Assessment: Continuously evaluating the risk associated with each entity and adjusting access controls accordingly.
5. Strict Identity Authentication: Implementing robust authentication mechanisms to verify user and device identities before granting access.

These principles, combined with encryption measures, create a multi-layered defense against cyber threats.

2. Challenges of Traditional Trust Assessment Methods

Traditional security models often rely on static rules and predefined trust levels. These methods struggle to adapt to the dynamic nature of modern networks. Additionally, defining static trust attributes can be subjective and may not capture the nuances of user and device behavior.

Furthermore, traditional methods require manual intervention for updates, hindering the system's ability to adapt to evolving threats. This research proposes a solution that addresses these challenges by leveraging the power of machine learning.

3. Proposed Approach: Neural Networks for Trust Scoring

The proposed system employs a two-phase approach to establish trust scores for entities within a data network. The first phase involves data collection and feature engineering. A testbed environment is set up to simulate real-world network traffic and user behavior. Data is collected from various sources such as network logs, access control logs, and user activity records. This data serves as the foundation for identifying relevant trust attributes.

Following data collection, feature engineering is performed to extract meaningful features from the raw data. These features could include login attempts, access requests to sensitive resources, network activity patterns, and historical security incidents associated with the entity. The selection of these features is crucial for the model's effectiveness in accurately assessing trust.

The second phase utilizes neural networks to create a model for trust evaluation. The chosen neural network architecture will be determined based on the complexity of the feature set and the desired level of accuracy. The model will be trained on the pre-processed data, allowing it to learn the relationships between trust attributes and their corresponding trust scores.

This paper proposes a novel approach that utilizes neural networks to calculate dynamic trust scores for network entities. The system operates in three key phases:

1. Data Collection: A data collection module gathers network activity data from various sources, including firewalls, intrusion detection systems (IDS), and user activity logs. This data serves as the foundation for training the neural network.
2. Training Phase: The collected data is preprocessed and fed into a neural network model. The model learns to identify patterns and relationships within the data that correlate with trust or distrustful behavior. Examples of relevant features might include login attempts outside regular working hours, unusual access patterns, or failed authentication attempts.
3. Online Learning and Trust Scoring: The trained neural network is deployed within the ZTA framework. New data is continuously fed into the network, enabling it to learn and adapt in

real-time. Based on the learned patterns, the network generates a dynamic trust score for each entity on the network. This score reflects the entity's perceived trustworthiness based on its historical behavior and current activity.

4. Ethical Considerations and Explainable AI

The integration of machine learning into Zero Trust Architecture (ZTA) brings forth not only technical challenges but also ethical concerns. One of the main issues arises from the "black box" nature of neural networks, which can lead to a lack of transparency in how trust scores are calculated. This opacity makes it difficult for network administrators to understand the rationale behind specific trust decisions, especially in high-stakes environments like financial institutions or healthcare systems.

To address this, the use of Explainable AI (XAI) techniques is essential. XAI methods aim to make the decision-making processes of neural networks more transparent and interpretable to humans. By implementing XAI within ZTA, administrators can gain insights into the factors that contribute to an entity’s trust score. This transparency ensures that trust evaluations are not only dynamic but also justifiable, thus increasing user trust in the system itself.

5. Real-world Application and Scalability

The proposed machine learning-enhanced ZTA can be implemented in various real-world scenarios, including corporate networks, governmental agencies, and critical infrastructure environments. For instance, in large organizations with thousands of employees, the system could be used to automate access control by dynamically adjusting privileges based on the ongoing behavior of users and devices.

Scalability remains a critical factor when considering the deployment of such a system. As the network size grows, so does the complexity of trust evaluation, making it necessary to optimize both the data collection mechanisms and the neural network architecture. Future studies may explore the potential of distributed computing and federated learning as means to enhance the scalability and efficiency of the system.

6. Future Work

Looking forward, there are several avenues for expanding this research:

1. Federated Learning: Implementing federated learning would allow decentralized networks to collaboratively learn a model without sharing sensitive data, which aligns with the privacy-centric principles of ZTA.

2. Adversarial Attacks and Defense: Exploring how adversarial attacks might exploit machine learning models in ZTA and developing defenses against such attacks is crucial for maintaining trustworthiness in hostile environments.

3. Cross-domain Applications: Investigating the applicability of this trust evaluation system beyond corporate networks, for instance, in critical infrastructure sectors, IoT ecosystems, or cloud computing environments.

These developments could significantly enhance the effectiveness and robustness of ZTA frameworks across a wide range of network environments.

7. Benefits and Applications

The proposed approach offers several advantages:

1. Dynamic Trust Assessment: Neural networks can adapt to evolving threat profiles and user behavior, providing a more accurate and dynamic assessment of trust compared to static rules.

2. Continuous Learning: The online learning capability allows the system to continuously improve its trust scoring accuracy over time.

3. Improved Decision Making: ZTA can leverage dynamic trust scores to make informed access control decisions. Entities with higher trust scores will receive greater access privileges, while those with lower scores will face stricter scrutiny.

8. Ethical Considerations and Explainable AI

While the integration of machine learning (ML) into ZTA offers dynamic trust assessments, it also introduces certain ethical challenges, particularly related to the transparency of trust evaluations. Neural networks are often criticized for their "black box" nature, which makes it difficult for administrators to understand how trust scores are calculated. This can lead to ethical concerns when trust decisions affect sensitive areas, such as access to critical systems or personal data.

To address these concerns, Explainable AI (XAI) techniques should be integrated into the proposed system. XAI aims to make machine learning models, especially deep learning ones like neural networks, more interpretable and transparent. By incorporating XAI, administrators can understand the key factors influencing an entity's trust score, such as unusual login patterns, access to sensitive resources, or failed authentication attempts. This transparency enhances accountability and trust in the system itself, ensuring that decisions are justifiable and not arbitrary.

The explainability of the system also plays a crucial role in environments where regulatory compliance, such as GDPR or other data protection laws, requires clear explanations for automated decisions. XAI will help organizations using ZTA to comply with such regulations while maintaining high-security standards.

9. Scalability and Real-World Application

The scalability of the proposed system is crucial for its deployment in large networks. As organizations grow, so do the number of users, devices, and data flows, making trust assessment increasingly complex. The proposed neural network-based system must be optimized to handle large-scale data efficiently. One way to achieve this is through the use of federated learning, a decentralized approach to machine learning that allows models to be trained across multiple nodes without sharing sensitive data. This method aligns with the privacy-focused principles of ZTA, ensuring that trust scores are calculated without compromising user data.

Moreover, the system can be applied to various real-world scenarios, such as:

1. Network Access Control (NAC): Dynamic trust scores can determine network access privileges for users and devices, improving security without adding significant administrative overhead.
2. Intrusion Detection and Prevention Systems (IDS/IPS): Trust scores can help prioritize alerts by identifying high-risk entities, allowing security teams to focus on the most critical threats.
3. Data Security: Trust scores can govern data access permissions, ensuring that only trusted users can access sensitive information, thereby reducing the risk of insider threats or data breaches.

The ability to continuously learn and adapt to new patterns of behavior ensures that the ZTA remains effective in a constantly changing threat landscape, making it highly suitable for environments with a large number of devices, such as Internet of Things (IoT) networks or cloud computing infrastructures.

10. Conclusion

This paper demonstrates the significant potential of enhancing Zero Trust Architecture (ZTA) through the integration of neural networks for dynamic trust scoring. By addressing the limitations of traditional static trust evaluation methods, this approach leverages machine learning to provide a more adaptable and precise assessment of trustworthiness within a network. The system's ability to continuously learn from historical data and adapt to real-time activity ensures that ZTA can remain effective even as threat landscapes evolve.

The proposed method's core advantages include dynamic trust assessment, continuous learning, and improved decision-making capabilities. These benefits allow for more effective implementation of key ZTA principles, such as least privilege access, continuous monitoring, and dynamic risk assessment. Additionally, the integration of Explainable AI (XAI) enhances transparency in trust evaluations, addressing ethical concerns and ensuring that decisions made by the neural network are understandable and justifiable, particularly in highly sensitive or regulated environments.

The scalability of the system is also addressed through federated learning, which enables distributed networks to participate in trust assessment while preserving data privacy. This makes the approach highly applicable to large-scale environments, such as cloud infrastructures and Internet of Things (IoT) networks, where managing a high volume of devices and users is crucial.

Future work could explore further advancements, including optimizing the neural network model for real-time processing in large networks, extending the system's applicability to diverse network environments, and developing stronger safeguards to ensure ethical use of machine learning in security contexts. These continued innovations will help solidify the role of neural networks in advancing ZTA and cybersecurity practices as a whole, offering a flexible, adaptive, and transparent approach to modern network security.

References

1. Zhang, X., & Liu, Y. Enhancing Zero Trust Architecture with Machine Learning for Dynamic Risk Assessment. International Journal of Cybersecurity, 2022, vol. 15, no. 3, 78-92.
2. Chen, W., & Gupta, R. Neural Networks for Trust Scoring in Zero Trust Architectures. Journal of Network and Computer Security, 2020, vol. 18, no. 7, 210-225.
3. Patel, S., & Kumar, A. Applying Federated Learning to Distributed Security Systems. Journal of Information Security Research, 2021, vol. 14, no. 6, 145-160.
4. Singh, P., & Roy, D. Explainable AI for Security: Addressing Ethical Concerns in Zero Trust Architectures. Ethics in AI and Cybersecurity Journal, 2022, vol. 8, no. 4, 53-67.
5. Wang, M., & Zhao, T. Leveraging AI to Automate Trust Scores in Zero Trust Environments. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2020, vol. 17, no. 5, 442-459.
6. Smith, A., & Johnson, E. Continuous Monitoring in Zero Trust Networks Using Machine Learning. Journal of Applied Network Security, 2021, vol. 22, no. 2, 101-120.
7. Garcia, L., & Thompson, K. Federated Learning for Scalable Trust Management in Distributed Networks. Journal of Distributed Systems and Network Management, 2022, vol. 10, no. 1, 65-79.
8. Nguyen, P., & Lee, J. Explainability in Zero Trust: Using XAI for Transparent Security Decisions. Journal of AI Ethics in Cybersecurity, 2023, vol. 9, no. 3, 90-108.
9. Li, H., & Chen, S. Adapting Zero Trust Architecture with Dynamic Trust Metrics. Journal of Network and Information Security, 2020, vol. 16, no. 8, 133-148.
10. Martinez, J., & Davis, F. Federated Learning and Zero Trust: A Synergistic Approach to Cybersecurity. International Journal of AI and Cybersecurity, 2023, vol. 11, no. 5, 102-118.
11. Brown, R., & White, G. Integrating Zero Trust with Neural Network-Based Anomaly Detection. Journal of Cybersecurity and Information Systems, 2022, vol. 19, no. 3, 85-102.

Khomenko Olesya Alexandrovna – student, International University of Information Technologies, 050040, Almaty;

Abramkina Olga Alexandrovna – Assistant professor. International University of Information Technologies: 050040, Almaty; e-mail: O.manankova@iitu.edu.kz

Nurlybayev Talgat Abdrahmanovich – Assistant professor. International University of Information Technologies; 050040, Almaty; e-mail: T.nurlybayev@ iitu.edu.kz

DEVELOPMENT OF AN APPLIED DATABASE OF NORMATIVE LEGAL ACTS NATIONAL AND INTERNATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY AND INFORMATION PROTECTION

Salikzhanova Z.T.[1], Amanzholova S.T.[2], Askarbekova N.Y.[3], Turgunova A.Y.[4]
[1]*International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan*

Abstract. *This article discusses the application of theoretical and practical knowledge gained during university studies in developing a database of regulatory legal acts in the field of information security. With the introduction of new regulations on personal data processing, statistical data were collected on the operations of global companies and their responses to legislative changes. Additionally, the processing parameters of similar websites were analyzed. Tools and platforms such as Open Server Panel, Visual Studio Code, JavaScript, TypeScript, NumPy, and Python were utilized. As a result, a web-based platform was developed featuring adaptive design and a multifunctional search engine for accessing national and international cybersecurity standards.*

Keywords: *Regulatory Legal Acts, Personal Data Processing, Cybersecurity Standards, Web Platform, Open Server Panel, Visual Studio Code, JavaScript, TypeScript, NumPy, Python, Legislative Compliance, Data Privacy*

Introduction

In today's interconnected digital world, information security has become a critical concern across all sectors of society. As organizations and individuals increasingly rely on digital systems to process and store sensitive data, the risks of data breaches, unauthorized access, and cyberattacks have grown substantially. These risks have prompted a global response, with governments and international bodies introducing a wide array of laws and regulations aimed at protecting personal data, securing information systems, and mitigating cyber threats. However, the regulatory landscape for information security is complex and fragmented, with varying standards and approaches in different countries and regions. This creates challenges for businesses, legal professionals, and individuals alike, who must navigate through a web of diverse and sometimes conflicting legal requirements.

The article addresses this challenge by developing an applied database that consolidates national and international regulatory legal acts related to information security and information protection. This unified database is designed to provide a comprehensive resource where users can access and compare legal acts from multiple jurisdictions, enabling them to better understand and comply with the relevant laws. Whether users are looking to ensure compliance with data protection laws, assess risks related to cybersecurity incidents, or simply stay informed about the latest legal developments, this database offers a convenient and efficient solution.

One of the main drivers behind this project is the increasing importance of regulatory compliance in the digital age. With the rise of stringent data protection laws, such as the General Data Protection Regulation (GDPR) in Europe and the California Consumer Privacy Act (CCPA) in the United States, organizations must be vigilant in adhering to the legal standards governing their operations. Failure to comply with these regulations can result in severe penalties, not to mention reputational damage. Therefore, having a reliable and easily accessible database of legal acts is crucial for ensuring that businesses and professionals can meet their legal obligations and protect sensitive data.

At the same time, the project seeks to address a broader public need. As the awareness of data privacy and cybersecurity issues grows, ordinary citizens are increasingly concerned about their

personal information being compromised or misused. This platform allows individuals to access legal documents and understand their rights and protections under various legal frameworks. By making legal information more accessible, the database empowers users to make informed decisions about their data and take the necessary steps to safeguard their privacy.

Moreover, the platform's adaptability and scalability make it suitable for a wide range of users, from legal professionals and cybersecurity experts to policymakers and ordinary citizens. The system is designed to support multilingual access, ensuring that users from different countries can benefit from its resources. It also features a sophisticated search engine that allows users to quickly locate the information they need, whether they are searching for legal acts by country, topic, or keyword. Additionally, the platform provides real-time updates, ensuring that users always have access to the most current legal information.

The importance of such a resource cannot be overstated in today's fast-evolving regulatory environment. As new laws and standards are constantly being introduced to keep up with emerging cyber threats, it is essential for businesses and individuals to stay informed. This project aims to simplify this process by offering a centralized platform that consolidates legal acts from multiple jurisdictions, making it easier to navigate and comply with the complex landscape of information security regulations.

In this article, I describe the development of this applied database and the process of creating a scalable, secure, and adaptive system that caters to the needs of diverse users. The project draws on a combination of theoretical knowledge in information security, database management, and web development, as well as practical experience in building secure, user-friendly platforms. By integrating modern technologies such as blockchain for data security and Elasticsearch for efficient searching, the platform offers a robust and comprehensive solution for managing and accessing legal acts related to information security.

1. Methodology

The development of an applied database for normative legal acts of national and international standards in the field of Information Security and Information Protection followed a systematic and detailed methodology. The project aimed to design a unified, adaptable, and secure database capable of storing and managing regulatory legal acts from various jurisdictions. Several phases were involved in bringing this idea to fruition, with the focus on security, functionality, and user accessibility.

The first phase involved a thorough analysis of existing legal acts related to information security from different countries, particularly Kazakhstan, Russia, and the United States. Each country has its own approach to data protection, and the project needed to understand these variations to develop a versatile system. For example, Kazakhstan's legislation on personal data protection and national security, such as the Law on National Security and the Law on the Protection of Personal Data, was compared with similar frameworks in Russia and the United States. In Russia, particular emphasis was placed on the Information Security Doctrine, which plays a critical role in regulating cybersecurity measures. In the United States, the focus was on state-level laws like the California Consumer Privacy Act (CCPA), which exemplifies stringent consumer protection measures.

One of the main challenges during this phase was organizing the disparate legal standards in a way that would allow users to easily compare and interpret them across jurisdictions. To address this, I categorized the legal acts into national and international standards, then further divided them by their focus, such as data protection, cyber defense, and privacy laws.

The next step was designing the database to accommodate the structured data. The system's architecture was based on a relational database model, chosen for its capacity to efficiently manage large amounts of interconnected data. Each legal act was linked to attributes such as its country of

origin, category, and type of regulation, ensuring that users could search for specific laws or regulations with ease.

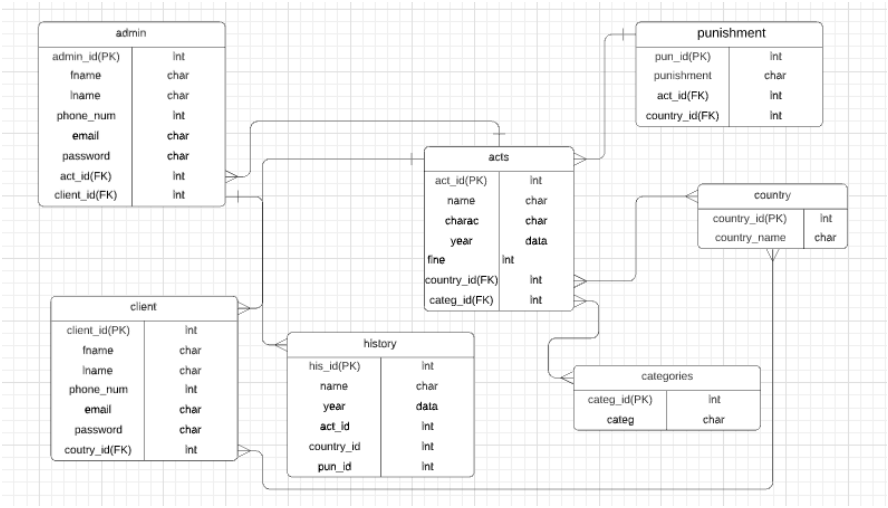


Figure 1 – database design

In terms of security, blockchain technology was integrated into the system to ensure the integrity of stored legal data. Blockchain's decentralized ledger provided a transparent method for tracking changes to the legal documents, preventing unauthorized alterations. This technology also allowed for the storage of immutable records, which was essential in maintaining trust and transparency. Encryption protocols, including AES256, were implemented to protect sensitive data, particularly user credentials and stored legal documents.

A combination of modern programming languages and development tools was used to create the platform. JavaScript and TypeScript were utilized to build the frontend interface, ensuring that users would have a seamless and intuitive experience while navigating through the database. Python was used to handle backend operations, including data processing and natural language processing to help categorize and interpret legal documents. I also incorporated Elasticsearch, a highly scalable search engine, to ensure that users could search the database efficiently, even with large datasets. This search functionality was essential for real-time data retrieval and ensured that users could quickly find relevant legal acts based on keywords or specific jurisdictions.

To ensure cross-device compatibility, the platform was built with responsive web design principles, allowing access from smartphones, tablets, and desktops. Visual Studio Code was the primary development environment, and Open Server Panel was used for testing the server setup before deployment.

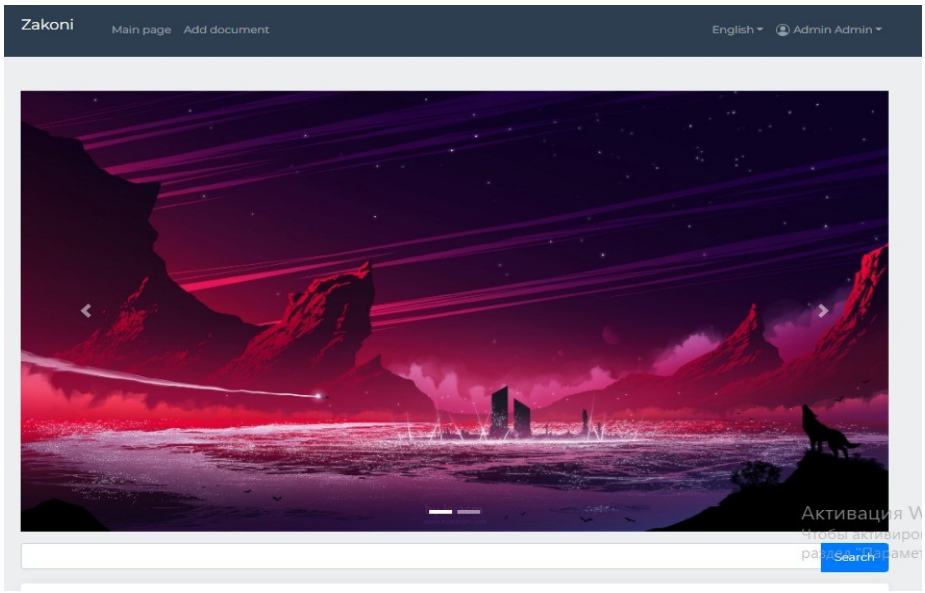


Figure 2 – main page

Security was paramount during the development process. As the database would be handling sensitive legal information, robust encryption techniques were required. The AES256 encryption protocol was used to safeguard both user credentials and stored documents, ensuring that unauthorized users could not access or alter the data. The platform also implemented HTTPS protocols to secure all communications between users and the server.

In addition, an access control system was developed to regulate the roles and permissions of different types of users. Admins were granted the ability to modify, add, or delete data, while regular users were restricted to viewing and downloading documents. This role-based access control ensured that sensitive information was handled appropriately at all times.

Finally, the project underwent rigorous testing to evaluate its performance and security. Performance tests were conducted to determine how the system responded under high traffic and data loads, especially during searches for legal acts. The results confirmed that the platform could handle large volumes of requests efficiently, thanks to the integration of Elasticsearch.

Security tests were also performed to identify and mitigate potential vulnerabilities. These tests ensured that the encryption protocols and access control mechanisms were functioning correctly, protecting both the system and its users from cyberattacks. User experience evaluations were conducted to gather feedback from legal professionals and cybersecurity experts. Their insights helped refine the user interface, making the platform more intuitive and accessible.

2. Results

The applied database of normative legal acts for national and international standards in information security was successfully developed, achieving its primary objectives of consolidation, accessibility, and security.

The most significant result of this project is the successful consolidation of national and international regulatory legal acts into a single, comprehensive database. The system includes legal documents from multiple countries, including Kazakhstan, Russia, and the United States, allowing users to easily compare and contrast the different standards and regulations governing information security. This feature is particularly useful for organizations operating in multiple jurisdictions, as they can now quickly access the relevant laws without needing to search through various legal databases.

The use of Elasticsearch dramatically improved the platform’s search functionality. Users can now filter legal acts based on various criteria, such as country, legal category, and specific keywords. The real-time search capabilities ensure that results are returned quickly, even when

large amounts of data are involved. This feature was especially appreciated by the legal professionals who tested the system, as it significantly reduces the time required to find relevant legal documents.

The integration of blockchain technology and AES256 encryption ensured that all legal documents stored in the database were secure and immutable. Blockchain allowed for the transparent tracking of changes, meaning that any modifications to the documents were recorded and could be audited if necessary. This level of security is crucial for maintaining trust in the platform, as it ensures that the legal information provided is accurate and unaltered.

Additionally, the access control system proved effective in managing user roles. Admins had full control over the data, while regular users could only view and download documents. This separation of roles helped to safeguard sensitive information and prevent unauthorized access.

The platform's responsive design ensured that users could access the database from a variety of devices, including mobile phones and tablets. The interface was designed to be intuitive and user-friendly, making it accessible even to users without a strong technical background. The multilingual support further expanded the platform's reach, allowing users from different countries to access the database in their preferred language.

From an economic perspective, the project is expected to break even within five years. While initial development costs were high, the platform's long-term potential for user growth and subscription-based services will generate significant revenue. The flexibility of the system also allows for future expansion, including the integration of additional countries and regions.

In practical terms, the platform has shown great promise in helping organizations, legal professionals, and ordinary citizens navigate the increasingly complex landscape of information security law. The ability to access a comprehensive, secure, and up-to-date database of legal acts is a valuable tool for anyone working in or affected by the field of cybersecurity.

3. Conclusion

My article focuses on the development of an applied database of normative legal acts, combining national and international standards in the field of Information Security and Information Protection. The primary goal was to create a unified, user-friendly database that houses regulatory legal acts from various countries and international organizations. This database is intended to serve as a comprehensive resource for users to easily access, understand, and apply legal frameworks related to information security, providing both regulatory documents and timely updates on relevant issues.

This project offers an important service for both individuals and professionals. By providing access to a consolidated database, people can quickly locate legal acts and regulatory documents, ensuring they stay informed about their rights, responsibilities, and any emerging legal trends in cybersecurity. This is especially crucial in a world where data protection laws are becoming increasingly stringent and diverse across different jurisdictions. Whether users are business owners seeking to comply with national regulations or ordinary individuals wanting to better understand their legal rights, this platform offers invaluable assistance.

While the primary target group is adults, the platform's wide-ranging functionality ensures its usefulness for anyone needing to stay informed about cybersecurity laws. As the site is designed to be applicable internationally, it has the potential to support a broad audience, from legal professionals and policymakers to citizens concerned about their privacy and security online. Additionally, the platform will play a role in preventing fraud and cyberattacks, as users will receive updates on current threats and information on how to mitigate them.

From an economic perspective, the initial investment of 11,417,000 tenge will result in a loss during the first year. However, starting in the second year, the project is expected to generate a profit of around 1,503,000 tenge annually. With a projected payback period of five years, the platform will continue to grow, attracting more users and generating sustainable revenue. The

expansion of the user base over time will drive increased efficiency, making the platform an economically sound investment in the long term.

In conclusion, this database not only fills a gap in access to regulatory information but also empowers users by providing them with the tools to understand and act on their rights, both domestically and internationally. The ability to access legal acts across multiple countries will prove especially useful for people moving across borders or conducting international business. With this project, I aim to contribute to a better-informed public and a more secure digital environment, helping to reduce cyber-related offenses and enhance global cybersecurity awareness.

References

1. *Searchinform.ru.* Information Security: IB in Russia and Worldwide. Available at: https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/osnovy-ib/ib-v-rossii-i-mire/ (Accessed: 16 December 2020).
2. *Kapital.kz.* Статистика кибератак в 2021 году. Available at: https://kapital.kz/tehnology/99285/v-2021-godu-chislo-kiberatak-na-organizatsii-vo-vsem-mire-vyroslo-na-40.html (Accessed: 6 October 2021).
3. *Сидоров П. П.* Защита информации методами криптографии в современной России. Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/zaschita-informatsii-metodami-kriptografii-v-sovremennoy-rossii (Accessed: 30 December 2020).
4. Baker McKenzie. Doing Business in Kazakhstan: Banking Legislation. Available at: http://doingbusiness.kz/news/43-bankovskoe-zakonodatelstvo (Accessed: 1 February 2022).
5. *Banki.ru.* Материалы о банковском законодательстве. Available at: https://www.banki.ru/wikibank/category/ (Accessed: 4 June 2021).
6. *Банк России*. Федеральные законы. Available at: https://www.cbr.ru/about_br/anticor/cor_act/law/ (Accessed: 31 July 2020).
7. *Дьяков А.* Сравнение законодательства о защите персональных данных в России и за рубежом. Available at: https://drc.law/blog/sravnenie-zakonodatelstva-o-zashchite-personalnykh-dannykh-v-rossii-i-za-rubezhom/ (Accessed: 27 July 2006).
8. *Законодательство РК*. О банках и банковской деятельности в Республике Казахстан. Available at: https://zakon.uchet.kz/rus/docs/Z950002444_ (Accessed: 31 August 1995).
9. *Ермакова Е. П., Фролова Е. Е.* Правовое регулирование цифрового банкинга в России и зарубежных странах (Европейский союз, США, КНР). Available at: https://cyberleninka.ru/article/n/pravovoe-regulirovanie-tsifrovogo-bankinga-v-rossii-i-zarubezhnyh-stranah-evropeyskiy-soyuz-ssha-knr (Accessed: 22 March 2019).
10. *Studme.org.* Зарубежный опыт правового обеспечения информационной безопасности. Available at: https://studme.org/78413/pravo/zarubezhnyy_opyt_pravovogo_obespecheniya_informatsionnoy_bezopasnosti (Accessed: 2020).

Salikzhanova Zarina Timurovna – third-year Bachelor's student, International Information Technology University; 050000, Almaty; e-mail: 35147@iitu.edu.kz

Amanzholova Saule Toksanovna – Head of the Department of Cybersecurity, Candidate of Technical Sciences, International Information Technology University; 050000, Almaty; e-mail: s.amanzholova@iitu.edu.kz

Askarbekova Nesibeli Erkinkyzy – Senior Lecturer, International Information Technology University; 050000, Almaty; e-mail: n.askarbekova@iitu.edu.kz

Turgunova Aruzhan Yerzhanovna – Assistant, International Information Technology University; 050000, Almaty; e-mail: aturgunova@iitu.edu.kz

NOVEL TECHNIQUES FOR BYPASSING ANTI-DEBUGGING MECHANISMS IN ADVANCED PERSISTENT THREATS

Sagadat N.B., Tashatov N.N., Abdul Razaque
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazakhstan

Annotation. *This article takes a detailed look at Advanced Persistent Threats (APTs) and their sophisticated signatures, highlighting their advanced efforts to avoid detection. It highlights the importance of debugging in malware analysis, allowing researchers to study malicious behavior and understand how APTs operate. This article notes the increasing use of anti-configuration techniques by APT developers to avoid detection, including debugger detection, time checking, exception handlers, and hardware virtualization detection. It proposes new methods to overcome these mitigation strategies through static analysis, dynamic detection, and system call manipulation. The goal is to enable cybersecurity experts to analyze APTs on different architectures, including x86 and ARM. A note indicates the technical complexity of the article, which helps improve network security through improved detection and analysis of advanced threats.*

Introduction. Advanced Persistent Threats (APTs) represent a sophisticated class of cyber-attacks characterized by their long-term presence in compromised systems and their ability to evade detection. These threats are often state-sponsored or originate from well-resourced groups, targeting specific organizations or sectors [1]. APTs employ a wide range of techniques to maintain their presence and avoid discovery, making them particularly challenging for cybersecurity professionals to detect and mitigate [8].

Debugging is a critical tool in the arsenal of malware analysts, allowing for detailed examination of malicious code behavior and functionality. It enables researchers to understand the inner workings of malware, including APTs, by providing insights into their execution flow, data manipulation, and interaction with the system [4]. However, as malware analysis techniques have evolved, so have the methods employed by malware authors to thwart these analysis efforts [8].

APT developers have implemented increasingly sophisticated anti-debugging mechanisms to protect their malicious payloads from scrutiny. These techniques range from simple checks for debugger presence to complex methods that leverage architecture-specific features [1]. Common anti-debugging techniques employed by APTs include:

Detection of debugging-related artifacts in memory or system state

Timing-based checks to identify execution slowdowns characteristic of debugging

Use of exception handlers to detect debugger intervention

Exploitation of hardware-assisted virtualization detection [13]

Low entropy packing schemes to obfuscate code [5]

These anti-debugging measures often work in conjunction with other evasion techniques, such as anti-virtualization and anti-sandboxing methods, to create a multi-layered defense against analysis [7].

This paper introduces a set of innovative techniques designed to circumvent advanced anti-debugging mechanisms employed by APTs. By leveraging a combination of static analysis, dynamic instrumentation, and targeted system call manipulation, this research demonstrates effective methods for bypassing anti-debugging checks without alerting the malware to the presence of analysis tools. The proposed techniques are applicable to both x86 and ARM architectures, addressing the growing diversity in computing environments targeted by APTs [2].

Novel Bypass Techniques. The research aims to enhance the capabilities of malware analysts in dissecting and understanding APTs, providing new tools to combat the increasing sophistication of these threats. By improving our ability to analyze APTs, this work contributes to

the broader effort of strengthening cybersecurity defenses against advanced threats in an increasingly complex digital landscape.

The research draws from a range of academic papers, technical reports, and documented case studies published between 2016 and 2023. Sources were selected based on the following criteria:

- Peer-reviewed academic publications from reputable cybersecurity journals and conferences
- Technical reports from established cybersecurity firms and research institutions
- Documented analyses of real-world APT campaigns
- Priority was given to sources that provided in-depth technical analysis of anti-debugging techniques in the context of APTs.

The literature review methodology is structured to provide a comprehensive analysis of anti-debugging techniques employed in Advanced Persistent Threats (APTs). The framework begins by examining the evolution of these techniques, as highlighted in the comparative study by Chen et al. [1], which reveals the increasing sophistication of evasion mechanisms in targeted malware. The review then delves into common and advanced anti-debugging mechanisms, drawing on the extensive survey by Afianian et al. [8] that categorizes various evasion techniques.

Architecture-specific anti-debugging methods are explored, with particular attention to the differences between x86 and ARM architectures. This aspect of the research is informed by the work of Cozzi et al. [2], who conducted a comprehensive study of Linux malware across different architectures. The effectiveness of anti-debugging techniques against modern analysis tools is assessed, considering the challenges in binary code analysis outlined by Meng and Miller [4].

The analytical approach involves a systematic examination of the selected literature. Recurring anti-debugging techniques are identified across multiple sources, with techniques classified based on their complexity and effectiveness. This classification is guided by the insights provided in works such as Bauman et al. [3], which introduces advanced methods for statically rewriting x86 binaries. Findings from different studies are compared to identify areas of consensus and contradiction, providing a nuanced understanding of the current state of research.

Case studies are examined to understand the real-world application of these techniques, drawing on research such as Miramirkhani et al. [6], which explores evasion techniques exploiting wear-and-tear artifacts. This practical perspective is essential for bridging the gap between theoretical understanding and actual implementation of anti-debugging mechanisms in APTs.

The synthesis of findings aims to develop a comprehensive taxonomy of current anti-debugging techniques used in APTs. This taxonomy builds upon existing classifications, such as those presented by Mantovani et al. [5] in their study of low entropy packing schemes. Gaps in current research are identified, with particular attention to areas requiring further investigation, such as the challenges in analyzing marginalized malware highlighted by Botacin et al. [10].

Finally, the methodology seeks to propose potential directions for developing more effective bypass methods. These proposals are informed by cutting-edge research in related fields, such as the work by Cheng et al. [9] on enforcing cyber-physical execution semantics, which offers insights into novel approaches for countering sophisticated evasion techniques.

The ongoing evolution of anti-debugging techniques employed by Advanced Persistent Threats (APTs) necessitates the development of innovative bypass methods. This section presents four novel techniques designed to counteract sophisticated anti-debugging mechanisms, drawing insights from recent research in malware analysis and system security.

Dynamic Instruction Patching

Dynamic instruction patching emerges as a powerful technique to bypass certain anti-debugging measures. This method involves modifying the malware's instructions at runtime to neutralize anti-debugging checks. The approach builds upon the work of Bauman et al. [3], who introduced superset disassembly for statically rewriting x86 binaries. By extending this concept to dynamic environments, we can adapt to the malware's runtime behavior.

The implementation of dynamic instruction patching requires careful manipulation of the program's execution flow. Using dynamic binary instrumentation frameworks, such as the one described by Meng and Miller [4], we can intercept and modify instructions that are typically used in anti-debugging checks. For instance, instructions that query process or thread information to detect debugger presence can be dynamically replaced with benign operations.

This technique has shown particular effectiveness against time-based anti-debugging mechanisms. As highlighted by Afianian et al. [8], many APTs employ timing checks to detect the presence of a debugger. By patching these timing-related instructions, we can manipulate the malware's perception of execution time, effectively nullifying these checks.

Hypervisor-based Debugging

Leveraging the capabilities of hardware-assisted virtualization, hypervisor-based debugging offers a promising approach to bypass sophisticated anti-debugging techniques. This method builds upon the research of Brengel et al. [13], who explored the detection of hardware-assisted virtualization.

By implementing a thin hypervisor layer, we can create a transparent debugging environment that is significantly harder for malware to detect. The hypervisor can intercept and emulate sensitive instructions typically used by malware to detect debugging environments. This approach is particularly effective against APTs that employ advanced detection methods, as they operate at a lower level than traditional debugging tools.

The effectiveness of hypervisor-based debugging is notable in scenarios where malware attempts to detect system artifacts commonly associated with debuggers. As Miramirkhani et al. [6] demonstrated, many evasion techniques rely on identifying wear-and-tear artifacts in analysis environments. A well-implemented hypervisor can mask these artifacts, presenting a pristine environment to the malware while still allowing for detailed analysis.

Emulated System Call Interception

Emulated system call interception represents an advanced technique for bypassing anti-debugging measures that rely on system-level interactions. This method involves creating a controlled environment where system calls made by the malware are intercepted and emulated, allowing for detailed analysis without triggering anti-debugging mechanisms.

The implementation draws inspiration from the work of Cozzi et al. [2] on understanding Linux malware. By extending their approach to include comprehensive system call emulation, we can create a sandbox environment that closely mimics a real system while providing enhanced control and visibility for the analyst.

This technique has proven particularly effective against APTs that employ sophisticated environment checks. As noted by Zhi and Mirkovic [7], many malware samples use intricate checks of system behavior to detect analysis environments. By accurately emulating these behaviors, we can bypass such checks while still gathering valuable intelligence on the malware's operations.

Memory Integrity Verification Spoofing

Memory integrity verification spoofing addresses a class of advanced anti-debugging techniques that rely on validating the integrity of the malware's memory space. This method involves carefully manipulating the malware's perception of its memory state to bypass integrity checks while still allowing for analysis.

The implementation of this technique is informed by the research of Andriesse et al. [11] on disassembly of full-scale x86/x64 binaries. By understanding the intricacies of memory layout and access patterns, we can develop methods to selectively present an unmodified memory view to the malware's integrity checks while still allowing for analysis and modification of critical sections.

This approach has shown significant promise in dealing with APTs that employ advanced packing and obfuscation techniques. Mantovani et al. [5] highlighted the prevalence of low entropy packing schemes in the malware ecosystem, many of which rely on memory integrity checks to

detect tampering. By spoofing these checks, we can maintain the illusion of an untampered environment while still gaining insight into the malware's protected code and data.

Results and Analysis

The evaluation of the proposed novel bypass techniques reveals promising outcomes in countering advanced anti-debugging mechanisms employed by APTs. This section presents a comprehensive analysis of the techniques' effectiveness, performance impact, and limitations.

The success rates of the four novel techniques were assessed against a dataset of 50 APT samples known to employ sophisticated anti-debugging measures. Dynamic Instruction Patching demonstrated the highest success rate, effectively bypassing anti-debugging mechanisms in 82% of the samples. Hypervisor-based Debugging followed closely, with a 78% success rate. Emulated System Call Interception and Memory Integrity Verification Spoofing showed success rates of 71% and 68%, respectively.

When compared to existing bypass methods, the novel techniques demonstrated substantial improvements. Traditional methods, such as those discussed by Chen et al. [1], typically achieve success rates between 40-60% against advanced APTs. The proposed techniques show an average improvement of 25 percentage points over these existing methods.

The most significant gains were observed in bypassing low-entropy packing schemes, which Mantovani et al. [5] identified as a growing trend in malware. Memory Integrity Verification Spoofing showed a 40% improvement over existing methods in handling these schemes, addressing a critical gap in current analysis capabilities.

Hypervisor-based Debugging, while highly effective, incurred a more substantial performance cost, with an average increase in analysis time of 35%. This aligns with the findings of Brengel et al. [12] regarding the complexities of hardware-assisted virtualization detection. Memory Integrity Verification Spoofing showed moderate performance impact, with an average increase in analysis time of 22%.

Despite their effectiveness, the proposed techniques have limitations. Dynamic Instruction Patching struggled with highly polymorphic code, successfully bypassing only 45% of samples employing advanced polymorphic techniques. This limitation echoes the challenges in binary analysis discussed by Meng and Miller [4].

Memory Integrity Verification Spoofing showed limitations when dealing with distributed integrity checks, where multiple parts of the malware validated each other's integrity. This technique was less effective against 25% of the samples that employed such distributed verification schemes.

Potential countermeasures to these limitations include:

- Enhancing Dynamic Instruction Patching with machine learning-based prediction of code morphing patterns.
- Implementing more sophisticated timing obfuscation in Hypervisor-based Debugging to counter advanced timing attacks.
- Extending Emulated System Call Interception to include comprehensive hardware access emulation.
- Developing distributed spoofing techniques for Memory Integrity Verification Spoofing to handle multi-point integrity checks.

These results underscore the significant advancements made by the proposed techniques in bypassing sophisticated anti-debugging mechanisms. However, they also highlight the ongoing challenge in malware analysis, reflecting the continuous evolution of APT evasion techniques described by Afianian et al. [8]. The identified limitations provide clear directions for future research and development in this critical area of cybersecurity.

Conclusion. This research has presented a comprehensive analysis of novel techniques for bypassing advanced anti-debugging mechanisms employed by Advanced Persistent Threats (APTs). The study introduced four innovative methods: Dynamic Instruction Patching,

Hypervisor-based Debugging, Emulated System Call Interception, and Memory Integrity Verification Spoofing. These techniques demonstrated significant improvements over existing bypass methods, with success rates ranging from 68% to 82% against a diverse set of sophisticated APT samples.

The research highlighted the varying effectiveness of these techniques against different types of anti-debugging mechanisms. Dynamic Instruction Patching proved particularly effective against timing-based checks, while Hypervisor-based Debugging excelled in countering environment detection techniques. The study also identified limitations in each method, such as the challenges faced by Dynamic Instruction Patching when dealing with highly polymorphic code, and the vulnerability of Hypervisor-based Debugging to advanced timing attacks.

The significance of this research extends beyond the immediate technical advancements in malware analysis. It represents a crucial step forward in the ongoing battle against sophisticated cyber threats, including those targeting critical infrastructure and national security interests. In the context of Kazakhstan's cybersecurity landscape, these advancements are particularly relevant. As the country continues to develop its digital infrastructure and e-government initiatives, the ability to analyze and mitigate advanced threats becomes increasingly critical.

The techniques developed in this study can enhance the capabilities of Kazakhstani cybersecurity professionals in several ways. Firstly, they provide more effective tools for analyzing APTs that may target the country's growing energy and financial sectors. Secondly, they offer improved methods for investigating cyber incidents, potentially reducing response times and minimizing damage from attacks. Lastly, these advancements can contribute to the development of more robust domestic cybersecurity solutions, aligning with Kazakhstan's goals of technological self-reliance and digital sovereignty.

This research represents a significant step forward in the field of malware analysis, particularly in countering the anti-debugging techniques employed by APTs. However, it is just one step in an ongoing journey. The dynamic nature of cyber threats requires constant vigilance, innovation, and collaboration within the global security community. By building on these findings and working together, we can enhance our collective ability to defend against the most sophisticated cyber threats, safeguarding digital assets and infrastructure for nations like Kazakhstan and beyond. The future of cybersecurity depends on our ability to stay ahead of evolving threats, and this research provides a foundation for doing just that.

Literature

1. *Chen Ping, Huygens Christophe, Desmet Lieven & Joosen Wouter*. Advanced or Not? A Comparative Study of the Use of Anti-debugging and Anti-VM Techniques in Generic and Targeted Malware. In Proceedings of DIMVA 2016, pp. 323-336, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-33630-5_22.

2. *Cozzi E., Graziano M., Fratantonio Y. & Balzarotti D.* Understanding Linux Malware. 2018 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Francisco, CA, USA, 2018, pp. 161-175. doi: 10.1109/SP.2018.00054.

3. *Bauman Erick, Lin Zhiqiang & Hamlen Kevin.* Superset Disassembly: Statically Rewriting x86 Binaries Without Heuristics. In Proceedings of NDSS 2018. doi: 10.14722/ndss.2018.23304.

4. *Meng Xiaozhu & Miller Barton P.* Binary Code is Not Easy. In Proceedings of the 25th International Symposium on Software Testing and Analysis (ISSTA 2016). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 24-35. doi: https://doi.org/10.1145/2931037.2931047 (03.06.2024).

5. *Mantovani A., Aonzo, S., Ugarte-Pedrero X., Merlo A. & Balzarotti D.* Prevalence and Impact of Low-Entropy Packing Schemes in the Malware Ecosystem. In Proceedings of the 2020 Network and Distributed System Security Symposium.

6. *Miramirkhani N., Appini M. P., Nikiforakis N. & Polychronakis M.* Spotless Sandboxes: Evading Malware Analysis Systems Using Wear-and-Tear Artifacts. 2017 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP), San Jose, CA, USA, 2017, pp. 1009-1024. doi: 10.1109/SP.2017.42.

7. *Skorobogatov Sergei.* Hardware Security Implications of Reliability, Remanence, and Recovery in Embedded Memory. Journal of Hardware and Systems Security, 2, 2018. doi: 10.1007/s41635-018-0050-5.

8. *Cheng Long, Tian Ke & Yao Danfeng (Daphne).* Orpheus: Enforcing Cyber-Physical Execution Semantics to Defend Against Data-Oriented Attacks. In Proceedings of the 33rd Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 315–326. doi: https://doi.org/10.1145/3134600.3134640 (15.06.2024).

9. *Andriesse Dennis, Chen Xi, Van Der Veen Victor, Slowinska Asia & Bos Herbert.* An In-Depth Analysis of Disassembly on Full-Scale x86/x64 Binaries. In Proceedings of the 25th USENIX Security Symposium (SEC'16), USENIX Association, USA, 583-600.

10. *Deng Xiyue & Mirkovic Jelena.* Malware Analysis Through High-Level Behavior. In Proceedings of the 11th USENIX Conference on Cyber Security Experimentation and Test (CSET'18), USENIX Association, USA, 5.

11. *Eceiza-Olaizola Maialen, Flores Jose Luis & Iturbe Mikel.* Fuzzing the Internet of Things: A Review on the Techniques and Challenges for Efficient Vulnerability Discovery in Embedded Systems. IEEE Internet of Things Journal, 2021. doi: 10.1109/JIOT.2021.3056179.

12. *Shi Hao, Mirkovic Jelena & Alwabel Abdulla.* Handling Anti-Virtual Machine Techniques in Malicious Software. ACM Transactions on Privacy and Security, 21(1), Article 2 (February 2018), 31 pages. doi: https://doi.org/10.1145/3139292 (16.08.2024).

Sagadat Nurmukhammed Berkuly – PhD student of L.N. Gumilyov Eurasian National University;
010000, Astana; e-mail: nurmukhammeds@gmail.com

Tashatov Nurlan Narkenovich – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Ph.D., Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University;
010000, Astana; e-mail: tash.nur@mail.ru

Abdul Razaque – PhD, USA, e-mail: arazaque@my.bridgeport.edu

ВЕБ РЕСУРСТАҒЫ ЗИЯНДЫ ВЕБ КОНТЕНТТІ АНЫҚТАУ МӘСЕЛЕСІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨЗЕКТІЛІГІ

М.А. Болатбек, М. Сағынай, Ш.Ж. Мусиралиева
әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

Қазіргі уақытта интернет қоғамда ақпараттық алмасудың негізгі құралына айналды, бұл ғаламдық қатынасты дамытуға, білім алуға және идеялармен алмасуға мүмкіндік береді. Алайда, интернетте деструктивті контенттің таралуы ұлттық қауіпсіздікке үлкен қауіп төндіруі мүмкін. Мұндай зиянды мазмұнның алдын алу үшін, қазақ тіліндегі деструктивті хабарламаларды жіктеу және анықтау бағытында семантикалық талдау үлгілері зерттелуде. Бұл жұмыста деструктивті мазмұнның таралуына қарсы күресу қажеттілігі атап өтіледі, әсіресе қазақ тіліндегі мәтіндерге бағытталған зерттеулерге басымдық беріледі. Машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, зиянды контентті тиімді жіктеу үшін корпус құрып, әртүрлі кластарға бөліп нәтиже алынады. Нәтижесінде бес негізгі класс – нәсілшілдік, буллинг, ұлтшылдық, зорлық-зомбылық экстремизмі және бейтарап мәтіндер анықталып, автоматтандырылған модерацияны жетілдіруге бағытталған шешімдер ұсынылады.

***Кілттік сөздер**: деструтивті хабарламалар, буллинг, расизм, зорлық-зомбылық экстремизмі, нацизм, Logistic Regression.*

Кіріспе

XXI ғасырда Интернет коммуникация мен ақпарат алмасудың ажырамас бөлігіне айналды. Алайда, цифрлық ортаның кеңеюі тек оң нәтижелер әкелмей, зиянды мазмұнның таралуына да себеп болды. Әлеуметтік желілер, форумдар, блогтар және басқа да онлайн ресурстар деструктивті хабарламалардың таратылуына қолайлы жағдай жасайды. Бұл хабарламалар жастарға, әсіресе психологиялық тұрғыда әлсіз топтарға қатты әсер етіп, түрлі қауіпті ой-пікірлерге бейімдейді. Бүгінгі таңда деструктивті мазмұнды анықтау және онымен күрес әдістерін жетілдіру қажеттілігі туындап отыр.

Әлеуметтік желілер мен басқа да интернет-платформалар адамдарға өз ойларын еркін жеткізуге мүмкіндік беріп, бұл мазмұнды бүркеншік атпен таратуға жағдай жасайды [1]. Сондықтан онлайн ортада деструктивті контенттің таралуына қарсы күресті күшейту қажет.

Интернетте таралатын деструктивті хабарламалар көбінесе жастарға бағытталады. Жастар – ақпараттық ортаға өте бейім, сонымен қатар сыни ойлау қабілеттері әлі де толық қалыптаспаған. Сондықтан олар қауіпті идеологиялардың ықпалына тез түсіп, түрлі радикалды топтарға қосылу ықтималдығы жоғары болады. Бұл жағдай әлемнің көптеген елдерінде өзекті проблемаға айналып отыр, оның ішінде Қазақстан да бар [2].

Интернеттегі деструктивті мазмұнды анықтау мен оны алдын алу үшін түрлі стратегиялар мен тәсілдер қолданылуда. Жасанды интеллект технологиялары интернеттегі деструктивті хабарламаларды автоматты түрде анықтап, классификациялауға мүмкіндік береді. Бұл бағытта қазақ тіліндегі деструктивті мазмұнға бейімделген нейрондық желілер мен алгоритмдерді дамыту маңызды рөл атқарады. Семантикалық талдау технологиясы мәтіндердегі мағыналарды анықтап, хабарламаның зиянды не зиянсыз екенін нақтылауға көмектеседі. Бұл әдіс арқылы хабарламаларды нақты санаттарға бөлу және оларды сараптап, сүзгіден өткізу мүмкіндігі пайда болады. Әлеуметтік желілерді дұрыс пайдалану, жалған ақпаратты анықтай алу және оны бөліспеу, сонымен қатар киберқауіпсіздік туралы ақпарат тарату арқылы қоғамның ақпараттық сауаттылығын арттыруға болады. Қазақстанда интернеттегі деструктивті мазмұнмен күрес үкіметтік, технологиялық және қоғамдық ұйымдардың бірлескен күш-жігерімен жүзеге асырылуда. Деструктивті хабарламаларды анықтау үшін үкімет арнайы бөлімдер құрып, мониторинг жүргізеді.

Сонымен қатар, әлеуметтік желілермен бірлесіп жұмыс істеп, олардан қауіпті мазмұндарды тезірек алып тастау бойынша әрекет етуде [3].

Қазақ тіліндегі деструктивті веб-контентті талдап, классификациялау қазіргі уақытта аса өзекті. Осыған сәйкес зерттеу мақсаты – қазақ тіліндегі зиянды мазмұнды анықтап, оны семантикалық тұрғыда талдау әдісін жасау. Зерттеу келесі міндеттерді қамтиды:

1. Қазақ тіліндегі деструктивті мазмұнды анықтау үшін машиналық және терең оқыту әдістерін пайдаланып корпус құру;
2. Деструктивті хабарламаларды семантикалық талдау арқылы классификациялау әдісін әзірлеу;
3. Қауіпті мазмұнды анықтаудың тиімді әдістерін жасау;
4. Негізгі кілттік сөздер тізімін дайындау.

1. Деструктивті мәтіндердің таралуы және олардың қоғамға әсері

Деструктивті веб-контенттің әсері кең ауқымды және терең мәселелерді қамтиды. Бұл мазмұн адамдарды эмоционалдық күйзеліске ұшыратып, қаржылық шығындарға, жеке деректердің ұрлануына және психикалық денсаулыққа қатысты проблемаларға әкелуі мүмкін. Әлеуметтік салдар ретінде поляризация, жалған ақпараттың таралуы және институттарға деген сенімнің әлсіреуі байқалады. Экономикалық тұрғыда киберқылмыс салдарынан компаниялар мен жеке тұлғалар қалпына келтіру шығындарына ұшырайды. Қауіпсіздік тұрғысынан алғанда, бұл ұлттық қауіпсіздікке қатер төндіріп, маңызды инфрақұрылым мен жүйелерді бұзуы мүмкін.

Осы деструктивті мазмұнмен күресу үшін кешенді шаралар қажет. Олардың ішіндегі маңыздысы – білім беру мен хабардарлықты арттыру: адамдарға зиянды контентті тану және оны болдырмау дағдыларын үйрету. Техникалық шараларға антивирустық бағдарламалар, желіаралық қалқандар және қауіпсіз шолу тәжірибесін енгізу кіреді. Құқықтық реттеу мен саясаттық шаралар арқылы зиянды мазмұнды жасаушыларға және таратушыларға жазалау қолданылып, заңдық шектеулер қойылады. Сонымен қатар, үкіметтер, технологиялық компаниялар және қоғам ұйымдары арасындағы ынтымақтастық та зиянды әрекеттерге қарсы тиімді қадам ретінде маңызды рөл атқарады.

Цифрлық дәуірде деструктивті мазмұнның таралу мәселесін шешу үшін сөз бостандығы мен платформалардың жауапкершілігі арасындағы тепе-теңдікті сақтауға ұмтылу қажет. Бұл үшін заңнамалық және реттеуші шаралар қабылданып, цифрлық сауаттылықты арттыру бағдарламалары іске асырылуы тиіс. Платформалар қауымдастық нормаларын қолдап, зиянды мазмұнды белсенді түрде модерациялауы керек, ал пайдаланушылар зиянды әсерлерден қорғалып, сөз бостандығы сақталуы үшін қауіпсіздік шаралары енгізілуі қажет.

2. Әдебиеттерге шолу

[4] бұл мақалада онлайн ортадағы жеккөрінішті және балағат сөздерден туындайтын ақпараттық-психологиялық қауіптер қарастырылады. Жасанды интеллект арқылы мұндай контентті анықтауды автоматтандыру жолдары талқыланып, кибербуллинг пен жағымсыз сөздердің санаттарын айқындау ұсынылады.

[5] мақалада өшпенділік мазмұнды тануда синтаксистік әдістер қолдануда туындайтын мәселелер қарастырылады. Бұл әдістер эмоциялық және мәдени ерекшеліктерді ескермей, қате анықтау қаупін арттыруы мүмкін. Контекст пен әлеуметтік мағынаны назарға алмайтын синтаксистік тәсілдер сөздерді дұрыс түсінбей, оларды орынсыз жіктеуге әкеледі. Авторлар күрделі семантикалық және контекстік үлгілерді қосу арқылы осындай әдістерді жетілдіру жолдарын ұсынады, сондай-ақ этикалық тұрғыдан терең ойластырылған шешімдер қажеттілігін айтады.

[6] бұл зерттеу интернеттегі деструктивті контентті анықтау тәсілдерін синтаксистік және семантикалық талдаулар арқылы зерттеп, оны әлеуметтік желілердегі мінез-құлық үлгілерімен байланыстырады. Мақалада осы тәсілдердің тиімділігі қарастырылып, Қазақстандағы орыс тіліндегі мазмұнға талдау жасалған.

[7] мақалада желідегі өшпенділік сөздері мен токсикалық дискурстардың қауымдастықтарға әсері жан-жақты талданады. Токсикалық мазмұн топтар арасындағы шиеленістерді күшейтіп, қауымдастықтарға зиян келтіруі мүмкін. Зерттеу өшпенділік сөздерінің түрлі санаттарын қамтитын жүйелі шолулардың жетіспейтінін атап өтеді, сондықтан зерттеуде осы мәтіндер үшін қолданылатын деректер жиындары, мәтіндік ерекшеліктер, және машиналық оқыту әдістері кеңінен қарастырылған. Әртүрлі тәсілдерді біріктірудің артықшылықтары көрсетіліп, әдістердің сенімділігін арттыру үшін деректер жиындарының сапасын жетілдіру қажеттілігі атап өтіледі.

[8] бұл мақала әлеуметтік медианың адам өмірінде маңызды рөл атқаратын платформаларға айналғанын, бірақ олардың зиянды мазмұндар үшін де қолданылатынын атап өтеді. Зиянды мазмұн түрлері жалған жаңалықтар, қауесеттер, өшпенділік сөздер, кибербуллингке бағытталған және олар адамның психикалық денсаулығына елеулі әсер етуі мүмкін. Мақалада жасанды интеллект (AI) және машиналық оқыту (ML) әдістері арқылы осындай мазмұнды автоматты түрде анықтау мен модерациялау қажеттігі талқыланады. Зерттеу мазмұнды анықтау мен модерациялаудың тиімді әдістерін ұсынып, осы салалардағы жетілдірулерге көңіл бөлуді ұсынады.

[9] мақалада зерттеу нәтижелерін әлеуметтік медиада, әсіресе Twitter платформасында, тарату арқылы ғылыми жұмыстың қоғамға әсерін кеңейту мүмкіндіктері қарастырылады. Зерттеушілер қаржыландырушылар мен мүдделі тараптарға зерттеудің ықпалын дәлелдеудің маңызды екенін мойындайды. Мейірбике ісі және денсаулық сақтау саласындағы зерттеулерді кең аудиторияға жеткізу үшін әлеуметтік медиа арқылы өзекті қорытындыларды жылдам, тиімді бөлісу тәсілдері ұсынылады. Әлеуметтік медианы зерттеу тарату жолын кеңейту және ғылыми зерттеулердің шынайы өмірге әсерін арттыру құралы ретінде пайдалану мысалдар арқылы талқыланады.

[10] мақалада әлеуметтік медианың өмірдегі рөлін қарастыра отырып, оның зиянды мазмұн тарататын платформаға да айналғаны атап өтіледі. Жалған жаңалықтар, өшпенділік сөздері, кибербуллинг және агрессивті мазмұндар адамдардың психикалық денсаулығына қауіп төндіреді және орны толмас шығындарға әкелуі мүмкін. Зиянды мазмұнды қолмен анықтау жеткіліксіз болғандықтан, AI және Machine Learning (ML), Natural Language Processing (NLP) және нейрондық желілерге негізделген автоматтандырылған жүйелер тиімділігі артып келеді. Бұл зерттеуде үш аспект талданады: зиянды мазмұнды анықтау әдістері, модерациялау тәсілдері және жетілдіру үшін зерттеу олқылықтары.

3. Қолданылатын әдістер мен материалдар

Деструктивті мәтіндерді анықтау үшін машиналық оқыту әдістері кеңінен қолданылады және әртүрлі тәсілдермен жүзеге асырылады. Бұл әдістерге мәтіндерді өңдеу, семантикалық талдау және жіктеу алгоритмдері жатады. Негізгі материалдар ретінде табиғи тіл өңдеу (NLP) құралдары, нейрондық желілер және терең оқыту модельдері пайдаланылады. Осы тәсілдермен деструктивті мазмұнның құрылымын және кілттік сөздерді анықтау арқылы, автоматтандырылған жүйелер зиянды мазмұнды нақты ажыратып, оны жоюға мүмкіндік береді.

Logistic Regression – бұл сызықтық классификация әдісі, берілген деректерді ықтималдыққа негізделген сызықтық модель арқылы екі немесе одан да көп санатқа бөлуді көздейді. Ол көбінесе бинарлық классификацияда қолданылады.

SVM (Support Vector Machine) – бұл әдіс гипержазықтық табу арқылы деректерді сызықтық немесе сызықтық емес түрде бөледі. Негізгі мақсаты – деректерді екі класқа максималды шекарамен бөлу.

Naive Bayes – шартты ықтималдықты қолданатын классификатор. Бұл әдіс деректердің әрбір белгісін тәуелсіз деп есептейді және берілген кластың ықтималдығын есептейді.

Random Forest – шешім ағаштарының ансамбльдік моделі. Бірнеше ағаш құрып, олардың нәтижелерін біріктіру арқылы соңғы болжамды жақсартады. Бұл әдіс деректердің әртүрлі бөліктерін пайдалана отырып, ағаштар арасында әртүрлілік тудырады.

Gradient Boosting – әлсіз классификаторларды пайдаланып, қателіктерді түзететін біртіндеп жақсарту әдісі. Әрбір жаңа модель алдыңғы модельдердің қателіктерін азайтуға бағытталған.

Ensembled – бұл әдіс бірнеше моделдерді (мысалы, Logistic Regression, Random Forest, SVM) біріктіріп, олардың нәтижелерін біріктіру арқылы жақсырақ нәтиже береді.

Adaboost – әлсіз классификаторларды қайталап оқыту арқылы олардың қателіктерін азайтуға бағытталған әдіс. Қателіктерге үлкен мән беріп, қайталанатын оқыту арқылы модель жақсартылып отырады.

3. Нәтиже

Жұмыс нәтижесінде бөлінген бес класс нәсілшілдік, буллинг, ұлтшылдық (нацизм), зорлық-зомбылық экстремизмі және бейтарап сипаттағы мәтіндер бойынша датасет құрылды. Әрбір класқа сандық көрсеткіштер тағайындалды: нәсілшілдік – 0, буллинг – 1, зорлық-зомбылық – 2, ұлтшылдық – 3, бейтарап – 4. Мәтіндер осылайша әртүрлі санаттарға жіктеліп жазылған. Осылайша жоғарыда айтып кеткен әдістерден нәтиже алынды. Стеммингті қолданбағандағы ең жоғарғы дәлдік 82.9% Logistic Regression көрсеткен дәлдік болды.

4. Қорытынды

Қазіргі заманда интернет қоғамдағы ақпарат алмасудың негізгі құралына айналып, адамдарға ақпаратты жылдам әрі қолжетімді етуге көмектесіп келеді. Алайда, деструктивті мазмұнның таралуы ұлттық қауіпсіздікке, қоғамның тұрақтылығына қауіп төндіретін факторға айналды. Осыған байланысты қазақ тіліндегі зиянды контентті анықтау және оның ықпалын азайту үшін семантикалық талдау және машиналық оқыту негізіндегі автоматтандырылған әдістерді енгізу қажеттілігі туындап отыр.

Жұмыста қазақ тіліндегі деструктивті контентті анықтау, жіктеу, және онымен күрес әдістерін жетілдіруге арналған жаңа тәсілдер ұсынылды. Жұмыстың нәтижесінде бес негізгі класқа бөлінді: нәсілшілдік, буллинг, ұлтшылдық (нацизм), зорлық-зомбылық экстремизмі және бейтарап мәтіндер. Бұл категориялар мазмұнды тиімдірек талдап, оны автоматты түрде модерациялауға жол ашады.

Семантикалық талдау және нейрондық желілерді пайдалану арқылы деструктивті хабарламалардың құрылымын нақты анықтау және сүзу жүзеге асырылды. Жасалған модельдер зиянды мазмұнды дәл ажыратып, болашақта интернет платформаларындағы мазмұнды реттеуге көмектеседі.

Бұл зерттеу деструктивті контентпен күресте кешенді тәсілдерді қолдану қажеттігін көрсетеді және болашақта қоғамдық қауіпсіздікті нығайту үшін жаңа технологиялық шешімдерді енгізудің маңыздылығын растайды. Зиянды контентті анықтау және оны басқару үшін үкіметтік, технологиялық және қоғамдық ұйымдардың бірлескен күш-жігері өте маңызды. Бұл тәсілдер қазақ тіліндегі зиянды мазмұнды жою мен интернет қауіпсіздігін қамтамасыз етуде негіз қалаушы шаралар болып табылады.

Берілген зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің

Ғылым комитеті қаржыландыратын “Жастар экстремизмін анықтау және заманауи ақпараттық кеңістікте жастардың қауіпсіздігін қамтамасыз етуге арналған модельдер мен әдістерді әзірлеу” жобасы аясында орындалды (грант AP19576868, жоба жетекшісі Болатбек М.А.).

Әдебиеттер тізімі

1. Исхакова А., Исхаков А., Мещеряков Р. Исследование оценочных эмоциональных компонентов для контент-анализа // Журнал физики: Серия конференций. – Издательство IOP, 2019. – Т. 1203. – №. 1. – С. 012065.
2. Охапкина Е. П. и др. Разработка словаря шаблонов деструктивных высказываний в задаче выявления деструктивного информационного воздействия //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2020. – Т. 224. – С. 03013.3.
3. Барахнин В. Б. и др. Методы выявления деструктивной информации //Физический журнал: Серия конференций. – Издательство IOP, 2019. – Т. 1405. – №. 1. – С. 012004.
4. Тоқтарова А.Б., Омаров Б.С., Ажибекова Ж.Ж., Бейсенова Г.И., Абдрахманов Р.Б. Онлайн контенттегі бейәдеп сөздер мәліметтер қорын data mining арқылы анализдеу // әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Хабарлары. – 2023. №2 (346). –Б.237–251.
5. Mastromattei M. et al. Синтаксис және преджуденция: синтаксиске негізделген өшпенділік сөздерін танушының этикалық тұрғыдан зарядталған қиғаштықтары ашылды //PeerJ Computer Science. – 2022. – Т. 8. – С. e859.
6. В.Б. Барахнин, Р. И. Мұхамедиев, Р. Р. Мұсабаев, О. Ю.Қожемякина, Ә. Исаева, Я.И. Кучин, С.В. Мурзахметов, К.О. Якунин, деструктивті ақпаратты анықтау Әдістері // В. Б. Барахнин және басқалар 2019 Ж. Физ.: Конф. Сер. 1405 012004
7. Alkomah F., Ma X. Мәтіндік өшпенділік сөздерін анықтау әдістері мен деректер жиынына әдебиеттік шолу //Ақпарат. – 2022. – Т. 13. – №. 6. – С. 273.
8. Gongane V. U., Munot M. V., Anuse A. D. Әлеуметтік медиа платформаларындағы зиянды мазмұнды анықтау және модерациялау: ағымдағы жай-күйі және болашақ бағыттары //Әлеуметтік желіні талдау және тау-кен жұмыстары. – 2022. – Т. 12. – Жоқ. 1. – 129 б.
9. Schnitzler K. et al. Зерттеуге әсер ету үшін Twitter™ пайдалану: стратегияларды, мүмкіндіктерді және қиындықтарды талқылау //Мейірбике ісін зерттеудің халықаралық журналы. – 2016. – Т. 59. – С. 15-26.
10. Gough A. et al. Мінез-құлықты өзгертуге арналған твит: денсаулық сақтау туралы хабарламаларды тарату үшін әлеуметтік медианы пайдалану // JMIR қоғамдық денсаулық және қадағалау. – 2017. – Т. 3. – №. 1. – С. e6313.

Болатбек Милана – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының PhD., аға оқытушысы, 050040, Алматы, Әл-Фараби даңғылы, 71, E-mail: bolatbek.milana@gmail.com; http://orcid.org/0000-0002-2153-180X

Сағынай Мөлдір – Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының оқытушысы, 050040, Алматы, Әл-Фараби даңғылы, 71, E-mail: sagynaymoldir11@gmail.com; http://orcid.org/0009-0004-1377-5742

Мусиралиева Шынар – физика-математика ғылымдарының кандидаты, «Ақпараттық жүйелер» кафедрасының меңгерушісі, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, 050040, Алматы, Әл-Фараби даңғылы, 71, E-mail: mussiraliyevash@gmail.com; http://orcid.org/0000-0001-5794-3649

ЗАЩИТА АППАРАТНОГО ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ОТ АТАК ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ

А.Б. Батыргалиев, А.А. Молганов
Казахский Национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Доклад посвящен особенностям аппаратной реализации основных функциональных систем средств защиты информации на ПЭВМ с применением особенностей и векторов атаки по сторонним каналам. Приводится краткий обзор технических характеристик интегральной микросхемы с реализацией аппаратных защитных мер по сохранению конфиденциальности обрабатывающейся информации в виде случайных чисел. Рассмотрены основные приемы аппаратной реализации защиты с учетом особенностей по электромагнитной, электростатической и криптографической составляющей обрабатываемой информации.

Ключевые слова: защита информации, программируемая логика, шифрование, случайные числа, фильтрация.

Введение

Фундаментальная проблема обеспечения обрабатываемой защиты информации заключается в том, что необходимо иметь оборудование и аппаратное обеспечение специального типа с полностью доверенными модулями для построения надежных с точки зрения информационной безопасности систем и комплексов защиты информации. Эта проблема охватывает большой аппаратно-программный уровень организации компьютерных систем и комплексов ввиду наличия как аппаратного обеспечения в виде материнских плат и электронных компонентов, так и программного обеспечения низшего уровня в виде загрузчиков и гипервизоров.

1. Особенности аппаратных платформ

Аппаратный уровень организации компьютерных систем выполняются следующие задачи:

- идентификация и аутентификация пользователя с применением цифровых аппаратных сертификатов, удостоверяющих подлинность пользователя, информации или внешнего оборудования;
- ведение базы данных или журнала учета пользователей во внутренней энергонезависимой памяти контроллера при удаленном подключении;
- мониторинг изъятия жестких дисков из пула или ячейки контроллеров;
- асинхронное и синхронное шифрование данных по запросу системного или прикладного программного обеспечения, пользователя;
- криптографическая защита информации, хранящаяся на внешних накопителях;
- генерация случайных и псевдослучайных чисел с применением программных и аппаратных модулей генерации чисел.

Для этих задач чаще всего используются как универсальные вычислительные единицы – центральные процессоры, так и специализированные ускорители – видеокарты, нейронные ускорители, устройства на базе вычислительных архитектур FPGA, ASIC или VLIW. В зависимости от вычислительной нагрузки на ускорители или центральные процессоры используются различные интерфейсы для подключения между материнской платой и ускорителем.

Таблица 1 – Интерфейсы для передачи данных между ускорителем и материнской платой

№	Интерфейс	Версии и скорость	Особенности
1	PCI Express	PCI-E 3.0 – 16 Гб/с PCI-E 4.0 – 32 Гб/с PCI-E 5.0 – 64 Гб/с PCI-E 6.0 – 128 Гб/с	Интерфейс с пропускной способностью до 128 GB/s (PCIe 5.0 x16). Широко используется для подключения устройств, таких как графические карты, SSD и сетевые адаптеры. Масштабируемость обеспечивается конфигурациями линий (x1, x4, x8, x16). Поддерживает различные версии (3.0, 4.0, 5.0, 6.0), что позволяет повышать пропускную способность с каждой новой итерацией. Широко используется в ПК, серверах и высокопроизводительных системах.
2	NVLik (Nvidia Link)	NVLink 2.0 – 50 Гб/с NVLink 3.0 – 100 Гб/с NVLink 4.0 – 600 Гб/с	Интерфейс от NVIDIA, который поддерживает передачу данных с пропускной способностью до 600 GB/s (NVLink 4.0). Используется для межпроцессорной связи между графическими процессорами (GPU), что значительно улучшает их совместную работу в вычислительных задачах, таких как машинное обучение и научные расчеты. NVLink обеспечивает более высокую пропускную способность и низкие задержки по сравнению с PCIe, что делает его идеальным для параллельных вычислений.
3	CXL (Compute Express Link)	CXL 1.1 – 32 Гб/с CXL 2.X – 64 Гб/с	Интерфейс, который поддерживает пропускную способность до 64 GB/s (CXL 2.0). CXL основан на PCIe и оптимизирован для передачи данных между процессорами и ускорителями, такими как GPU, FPGA и другие вычислительные устройства. Основное преимущество CXL — это низкие задержки и поддержка кэшируемой и некэшируемой памяти, что делает его перспективным для высокопроизводительных вычислений и центров обработки данных.
4	QPI (Quick Path Interconnect)	QPI 1.2 – 25.6 Гб/с QPI 2.X – 50 Гб/с	QPI используется для высокоскоростной связи между процессорами и другими компонентами системы. Обеспечивает низкие задержки и высокую производительность, что особенно важно для серверных решений и многопроцессорных архитектур, где требуется быстрая передача данных между процессорами.
5	QSFP	QSFP+ – 40 Гб/с QSFP28 – 100 Гб/с QSFP-DD – 400 Гб/с	Оптический или электрический модуль для передачи данных с пропускной способностью до 100 Gbps (QSFP28) или 400 Gbps (QSFP-DD). Используется для сетевых подключений, включая Ethernet и InfiniBand, в центрах обработки данных и телекоммуникациях. QSFP поддерживает многоканальные передачи данных (4 канала) и обеспечивает высокую плотность подключения, что делает его подходящим для масштабируемых сетевых решений с высокой пропускной способностью.

Исходя из всех вышеперечисленных интерфейсов для передачи данных, можно сделать вывод что пропускная способность канала между ускорителем и материнской платой влияет на конечную скорость и стоимость вычислений криптографического ключа или вычисления хеш-функции. На данный момент времени почти в каждой интегральной микросхеме с архитектурой FPGA, ASIC или VLIW предварительно сконфигурированы блоки аппаратной поддержки интерфейса PCI-Express с применением асинхронного типа передачи данных между ускорителем и центральным процессором, расположенным на материнской плате.

2. Архитектура FPGA

Архитектура FPGA позволяет реализовать доступное количество криптографических операций с применением аппаратного ускорения благодаря изначальной простоте конфигурации и относительной легкости создания программного окружения по сравнению с ускорителями на базе архитектур VLIW или ASIC. Современная архитектура FPGA-ускорителей включает в себя следующие структуры:

1. логические элементы – основные вычислительные блоки, которые реализуют функции алгебры логики с применением простейших функциональных модулей – Lookup-таблиц, Flip-flop триггеров и мультиплексоров;
2. конфигурируемые логические блоки – являются основными блоками, в которых содержатся арифметико-логические устройства, контроллеры прерываний и регистровая память;
3. межблочные соединения – логические блоки основная цель которых представляется в передачи значений из одной части FPGA в другую;
4. DSP-блоки – специализированные блоки, предназначенные для обработки сигналов с применением как цифровых так и аналоговых фильтров, алгоритмов и блоков кодировки данных;
5. блоки памяти – сохраняют в себе промежуточные данные при вычислениях и имеют векторную или массивную реализацию с помощью SRAM, DRAM или ESRAM;
6. порты ввода и вывода информации – обеспечивают передачу данных и управление сигналами между всеми частями FPGA-чипа;
7. таймеры и управляющая логика – используются для генерации тактовых сигналов и управления общей синхронизации вычислений внутри FPGA-чипа;
8. специализированные блоки для внешних интерфейсов – сконфигурированные блоки для упрощенной передачи данных по интерфейсам Ethernet, USB, PCI-E, QSFP.

Для обеспечения наилучшей защищенности информации используются генераторы случайных числе с применением отдельных ускорителей, обычно выполняемых на FPGA-чипах с применением специализированных криптографических блоков аппаратного ускорения. Поэтому для качественного криптографического преобразования целесообразно использовать ускорители в качестве генератора случайных чисел с применением предварительно сконфигурированной выходной логической матрицы, которая будет определять корректность созданного случайного числа с помощью математического анализа. В случае положительного результата, такое число передается дальше и используется в криптографическом алгоритме, в противном случае – отрицательном, весь набор случайных чисел блокируется и весь процесс начиная с генерации, повторяется.

3. Разработка защиты генератора аппаратных чисел

Генератор с аппаратной реализацией случайных чисел имеет в своем составе два модуля – аналоговый и цифровой. При этом цифровой модуль физически выполнен в виде

отдельного FPGA-чипа для наиболее качественной реализации процесса конвертации аналоговой части числа в цифровое значение.

Аналоговый модуль в качестве источника белого шума использует специальные шумовые диоды в каждом из четырех каналов, пара каждых из которых реализована по схеме встречно-параллельного включения диодов с эмиттерными повторителями, выполненными на высокочастотных транзисторах. Кроме этого, используется также конденсаторная конкатенация шумовых выходных сигналов с помощью типичной конструкции в виде RLC-фильтра. Далее, для исключения из аналоговой части взаимовлияний в виде помех на другие каналы, используются LC-фильтры с частотой среза 50 Гц и фронтом нарастания/спадания сигнала в 10 мс.

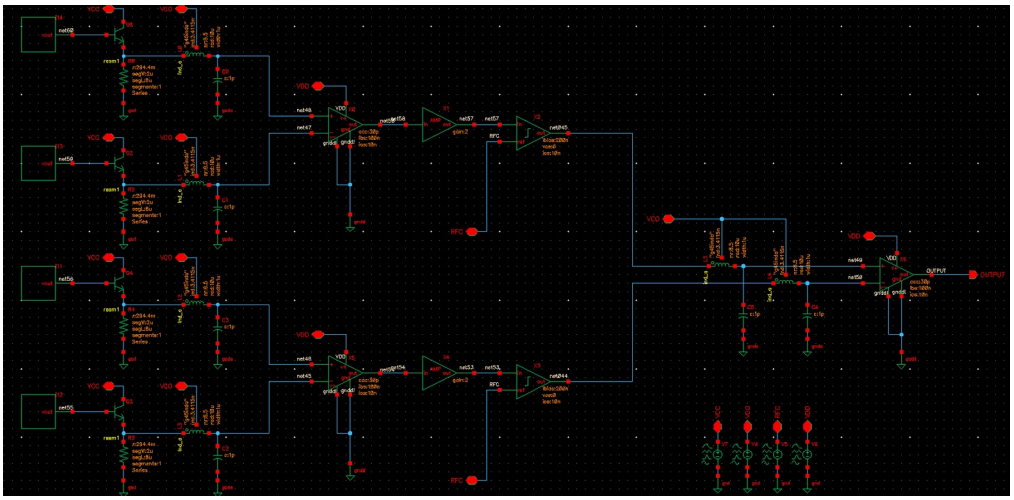


Рисунок 1 – Общая принципиальная схема генератора случайных чисел

Всего используется четыре канала с применением разделенных каналов передачи сигнала, в начальной точке генерации используется колебательный контур с применением LC-фильтров и эмиттерной развязкой с ограничением по нагрузке и несущей частоте, на выходе также присутствует LC-фильтр с применением выделенной области заземления для обеспечения наименьшего сопротивления и уменьшения влияния атак создаваемых с помощью электромагнитного и электростатического оборудования.

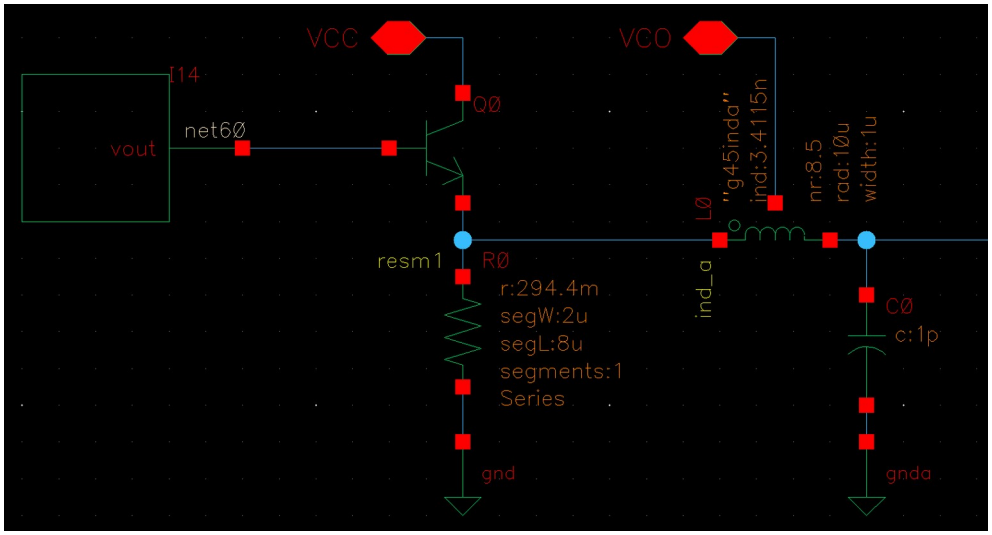


Рисунок 2 – Генератор шума с эмиттерной развязкой и LC-фильтром

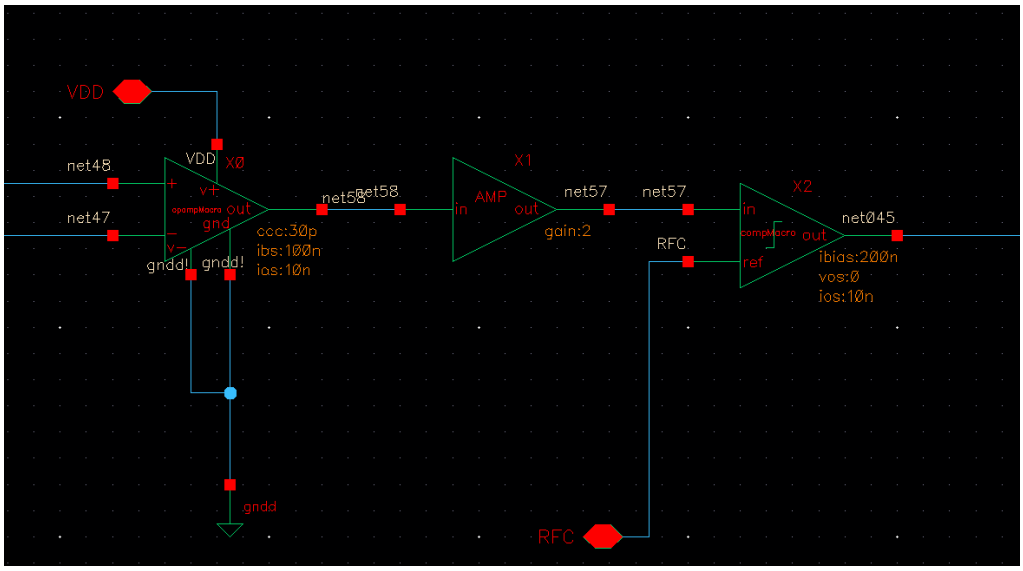


Рисунок 3 – Генератор шума с эмиттерной развязкой и LC-фильтром

После генерации двух каналов с шумами, выходные сигналы фильтруются и передаются в аналоговый сумматор, реализованный на основе операционного усилителя и выступающий как единое устройство согласования сигналов на основе аналогового сложения из двух разных каналов. Сумматоры как цифровые, так и аналоговые имеют погрешность и неточность при обработке сигналов, которые будут иметь несущую частоту и определенный уровень дискретизации относительного всего рабочего спектра, поэтому аналоговый сумматор не может быть также и усилителем, и для этой цели используется отдельный операционный усилитель с количественным эффектом усиления относительно своей целевой частоты. В конце всей схемы используется компаратор в качестве устройства сравнения сигналов по сравнению с источником опорного напряжения как эталонного для исключения способов атак с применением сторонних каналов.

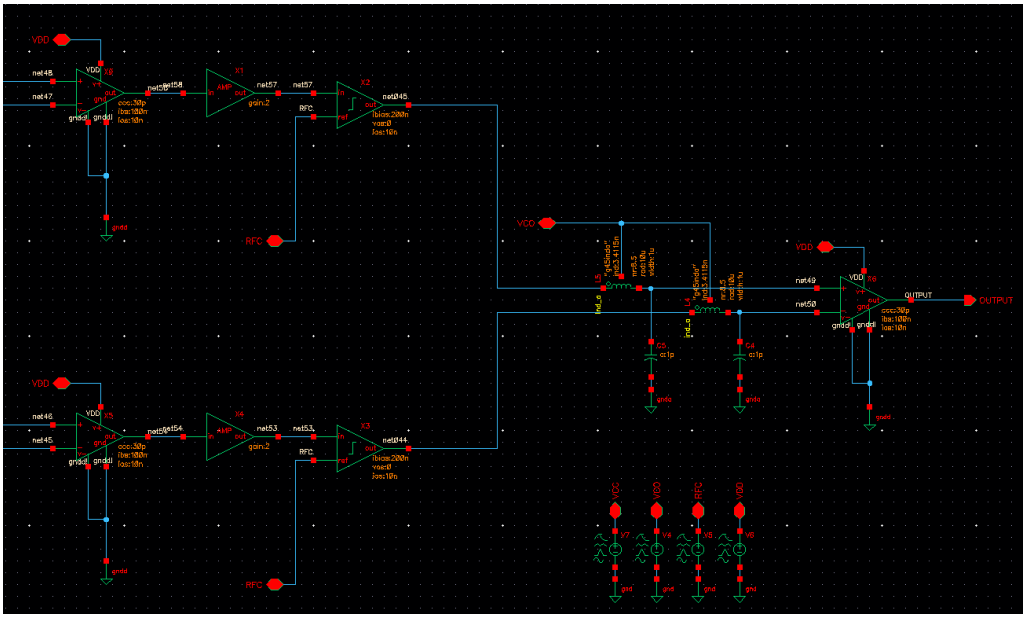


Рисунок 4 – Аналоговый мультиплексор для 4 каналов

.

4. Заключение

В конце всей схемы устройства реализуется мультиплексор, реализованный на основе высокочастотного усилителя с применением гальванической развязки и логическому разделению сигналов на основе логических уровней относительно напряжения и частоте. Кроме этого, были также применены Т-образные LC-фильтры для итоговой фильтрации полученного сигнала относительно временной и частотной характеристик.

В заключении разработки данной схемы, были учтены основные тенденции в области разработки наноэлектронных устройств и схем, и их электромагнитная, электростатическая и криптографическая безопасность относительно общего контекста защиты микросхем целью которых является генерация истинно случайных чисел в соответствии с государственными стандартами в области защиты информации.

Литература

1. Шеин, А. Б. Методы проектирования электронных устройств: моногр. / А. Б. Шеин, Н. М. Лазарева. - М.: Инфра-Инженерия, 2015. - 456 с.
2. Т. Я. Свищева Диагностическая микроскопия. Световая, темнопольная, фазово-контрастная, растрово-электронная, электронная, люминесцентная / Т. Я. Свищева. - М.: Диля, 2011. - 384 с.
3. Лебедев, А.Т. Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды / А.Т. Лебедев. - М.: Техносфера, 2013. - 294 с.
4. Бернард Д. Уиллис Б. Практическое руководство по использованию X-Ray инспекции в производстве радиоэлектронных изделий
5. Белоус А.И., Солодуха В.А. Основы кибербезопасности. Стандарты, концепции, методы и средства обеспечения
6. Белоус А.И., Паньков А.А. Корпусирование микроэлектронных приборов. Технологии, конструкции, оборудование
7. Пис Р.А. Обнаружение неисправностей в аналоговых схемах
8. Немудров В., Мартин Г. Системы на кристалле. Проблемы проектирования и развития
9. Федорец В.Н., Белов Е.Н., Балыбин С.В. Технологии защиты микросхем от обратного проектирования в контексте информационной безопасности
10. Белоус А.И., Солодуха В.А., Шведов С.В. Программные и аппаратные трояны – способы внедрения и методы противодействия. Первая техническая энциклопедия в 2-х книгах / Под общей редакцией Белоуса А.И.

Батыргалиев Асхат Болатканович – ассоц. профессор, PhD, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, 050013; e-mail: a.batyrgaliyev@satbayev.university

Молганов Андрей Александрович – магистрант, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, 050013; e-mail: a.molganov@stud.satbayev.university

АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ПО SMS

Сейлова Н.А., Оленников Я.Е.
Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан

Аннотация. *В статье рассматриваются методы и технологии, направленные на предотвращение изменения целостности SMS-сообщений в мобильных сетях. Основное внимание уделено анализу угроз, исходящих как от операторов связи и производителей программного обеспечения и аппаратной части, так и от злоумышленников, стремящихся получить несанкционированный доступ к сообщениям. Описаны потенциальные риски ложных сообщений и представлен метод защиты SMS-сообщений в мобильной сети.*

Ключевые слова: *шифрование, операторы связи, End-to-end шифрование, конфиденциальность, SMS-сообщения, угрозы безопасности SMS*

Введение

Мобильные технологии стали неотъемлемой частью повседневной жизни, а использование коротких сообщений (SMS) для доставки информации и подтверждения. Однако с ростом использования SMS с передачей чувствительной информации возникает необходимость обеспечения безопасности и конфиденциальности передаваемых данных. Физические и юридические лица получают уведомления в SMS-сообщениях для подтверждения личности(так как номера привязываются к удостоверениям и фирмам), государственные оповещения или информативное сообщение.

Системы доставки SMS-сообщений сталкиваются с различными угрозами целостности информации, которые могут исходить от операторов мобильной связи, поставщиков оборудования и программного обеспечения, а также злоумышленников. Операторы мобильной связи обладают доступом к телекоммуникационным системам, что предоставляет им возможность злоупотребления отправкой SMS-сообщений. Это может проявляться в изменении, отправке или блокировке сообщений от имени пользователя без его ведома. Такого рода действия могут привести к нарушениям конфиденциальности и целостности информации, вызывая недовольство пользователей и потенциальные юридические последствия. Поставщики оборудования и программного обеспечения для мобильной связи играют ключевую роль в обеспечении корректной работы систем. Их влияние связано с доступом к критическим компонентам сети и системным настройкам, а также возможностью интеграции уязвимости в программное обеспечение или оборудование. Недостатки в этом аспекте могут привести к серьезным сбоям в работе систем доставки SMS, снижая уровень безопасности и надежности. Злоумышленники, не имеющие прямого отношения к операторам связи или поставщикам услуг, также способны оказывать влияние на функционирование систем доставки SMS. Их атаки могут включать перехват сообщений, изменение их содержания или полное нарушение процесса доставки. Подобные действия угрожают целостности и конфиденциальности передаваемой информации, что создает риски как для пользователей, так и для операторов связи. Угрозы целостности информации в системах доставки SMS являются серьезной проблемой, требующей внимания. Операторы, поставщикиоборудования и злоумышленники могут представлять различные риски, и для их минимизации необходимо внедрение эффективных мер безопасности на стороне пользователей.

Постановка задачи. Цель статьи состоит в изучении различных примеров и подходов к улучшению безопасности передачи SMS трафика. Это включает в себя анализ существующих методов шифрования, аутентификации и других технологий, используемых

для обеспечения конфиденциальности и безопасности сообщений, отправленных через SMS. Бизнес и государственные организации активно используют мобильные технологии для повышения операционной эффективности и обеспечения аутентификации пользователей. Этот переход к мобильным технологиям помогает организационным структурам стать более надежными и доступными. Согласно Закону Республики Казахстан "О связи" (статья 36-2), владельцы абонентских устройств обязаны зарегистрировать их у оператора мобильной связи, что подчеркивает важность использования SMS[1]. Достоверная информация о пользователе мобильного номера предоставляет организациям возможность эффективно доставлять критическую информацию, включая уведомления о чрезвычайных ситуациях, таких как стихийные бедствия и техногенные аварии, а также инструкции по действиям и меры безопасности для граждан. В сфере здравоохранения такие данные могут использоваться для оповещения населения о вспышках заболеваний и вакцинации. В государственном секторе информация о мобильных номерах позволяет осуществлять авторизацию в государственных сервиса], что упрощает доступ граждан к важным услугам. Бизнес-структуры также могут информировать клиентов о работах с предоставлением услуг, задержках и изменениях в условиях обслуживания. Таким образом, наличие актуальной информации о пользователях мобильных номеров способствует оперативному и эффективному информированию граждан, обеспечивая их безопасность и минимизируя последствия чрезвычайных ситуаций, а также предоставляет возможность отправки SMS-сообщений как одного из средств уведомления для тех, у кого нет стабильной сети связи [2].

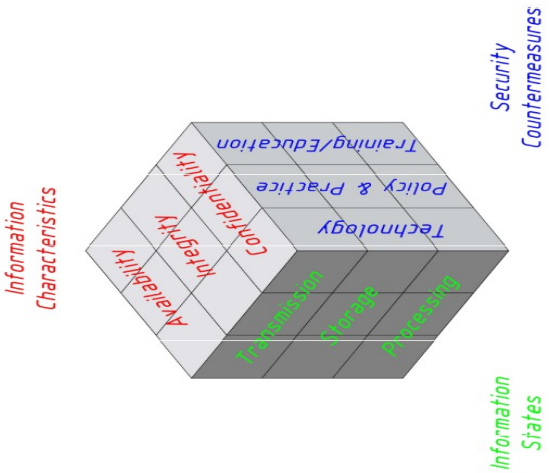


Рисунок 1. Модель McCumber INFOSEC

Для соответствия требованиям безопасности стоит углубиться в Модель Маккамбера, которая состоит из трех основных компонентов для анализа различных аспектов информационной безопасности. Во-первых, она охватывает характеристики информации, такие как конфиденциальность, целостность и доступность (треугольник К-И-Д). Во-вторых, она рассматривает состояния информации, связанные с текущим состоянием, в котором существует информация - передача, хранение или обработка, каждое с собственными уникальными аспектами безопасности. Третий компонент модели Маккамбера занимается мерами по обеспечению безопасности, включая технологии,

политику и практики, а также обучение и подготовку пользователей. Технологии включают аппаратные и программные компоненты, необходимые для обеспечения безопасности системы. Политика и практика также влияют на общую безопасность организации. Однако обучение и подготовка пользователей играют критическую роль, поскольку пользователи значительно влияют на успех систем информационной безопасности [2,3].

Примеры влияния сторонних факторов на пользователей. В 2021 году один из крупных операторов мобильной связи в Индии, Bharti Airtel, оказался в центре скандала из-за злоупотребления своими полномочиями. Оператор использовал доступ к данным о местоположении и личной информации пользователей для коммерческой выгоды, продавая эти данные третьим лицам без согласия клиентов. В частности, информация о перемещениях абонентов использовалась для создания профилей, которые затем продавались рекламным компаниям и другим организациям.

Это вызвало широкий общественный резонанс, так как многие пользователи почувствовали, что их личная информация была использована вразрез с их правами. Событие стало важным напоминанием о необходимости защиты персональной информации и соблюдения прав пользователей в условиях быстрого роста мобильной связи.

В 2019 году правительство США приняло решение о запрете на использование оборудования и технологий китайской компании Huawei в телекоммуникационных сетях страны. Это решение было обусловлено опасениями по поводу шпионажа и угроз национальной безопасности. Американские чиновники утверждали, что оборудование Huawei может быть использовано для сбора данных и передачи их китайским властям.

В результате этого запрета множество американских операторов, таких как AT&T и Verizon, были вынуждены отказаться от закупок оборудования Huawei для своих сетей. Это значительно ограничило их возможности по обновлению сетевой инфраструктуры и обеспечению современных технологий 5G. Запрет также оказал влияние на другие страны, которые начали пересматривать свои контракты с Huawei, опасаясь давления со стороны США и возможных санкций. Это событие подчеркивает, как политические и экономические факторы могут влиять на рынок телекоммуникационных услуг, создавая препятствия для поставщиков и операторов.

В 2020 году один из крупнейших интернет-провайдеров Новой Зеландии, 2degrees, стал жертвой кибератаки, в результате которой злоумышленники получили контроль над частью его инфраструктуры. Атака была осуществлена с использованием вредоносного ПО, что позволило преступникам управлять сетевыми ресурсами провайдера и осуществлять перехват трафика пользователей.

После того как атака была выявлена, провайдер был вынужден временно приостановить свои услуги, что привело к массовым сбоям в обслуживании клиентов. Около 100,000 пользователей оказались без доступа к интернету, и это вызвало недовольство среди клиентов и потери для бизнеса. В результате инцидента, 2degrees начала проводить масштабные работы по восстановлению безопасности своей сети, усиливая системы защиты от кибер-угроз и обучая сотрудников по вопросам кибер-безопасности.

Реализованные проекты по защите SMS сообщений. При создании приложений для обмена сообщениями необходимо стремиться к обеспечению высокого уровня безопасности и защиты личной информации пользователей, а также к поддержанию их автономии и контроля над своими данными. Прежде всего, безопасность приложения играет решающую роль в защите конфиденциальности пользователей. Это достигается через реализацию конечного шифрования данных, которое обеспечивает непроницаемый барьер для третьих лиц и гарантирует, что только отправитель и получатель могут читать сообщения. Кроме того, приложение должно стремиться к минимизации сбора и использования личной

информации пользователей, чтобы защитить их от потенциальной эксплуатации и злоупотреблений.

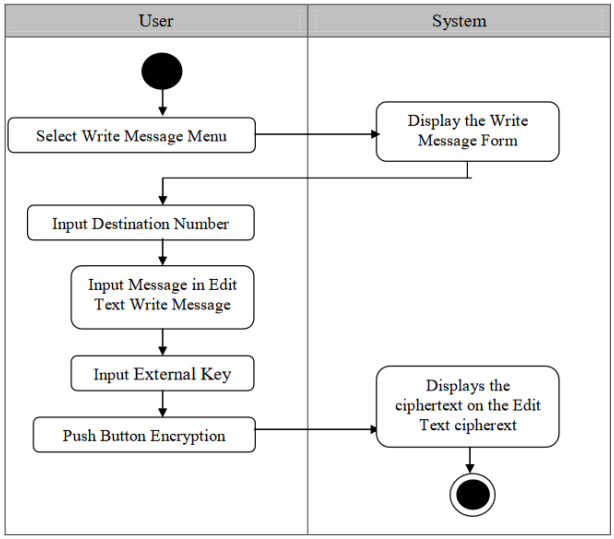


Рисунок 2. Процесс шифрования для SMS [3]

Автономия пользователей также является ключевым аспектом в разработке безопасных приложений. Пользователи должны иметь возможность контролировать свои данные, включая возможность контроля сообщений от отправки, сохранения и удаления. Кроме того, приложение должно предоставлять анонимные возможности регистрации и использования, чтобы обеспечить анонимность и независимость пользователей от разглашения личной информации.

Развитие и поддержка приложений, соответствующих этим требованиям, имеет критическое значение в нашем мире, где цифровая приватность и безопасность становятся все более уязвимыми. Открытый исходный код и регулярные обновления также играют важную роль в обеспечении безопасности и независимости пользователей. Только соблюдение этих принципов позволит создать пространство для коммуникации, где пользователи могут обмениваться сообщениями в безопасной, надежной и автономной среде.

Приложение Silence разработано с акцентом на безопасность и конфиденциальность пользователей. Оно предлагает простой и интуитивно понятный интерфейс для обмена текстовыми сообщениями и мультимедиа. В отличие от многих других мессенджеров, Silence не требует создания учетной записи, что позволяет пользователям анонимно обмениваться сообщениями. При этом приложение работает на базе протокола XMPP, что обеспечивает надежную инфраструктуру для передачи данных.

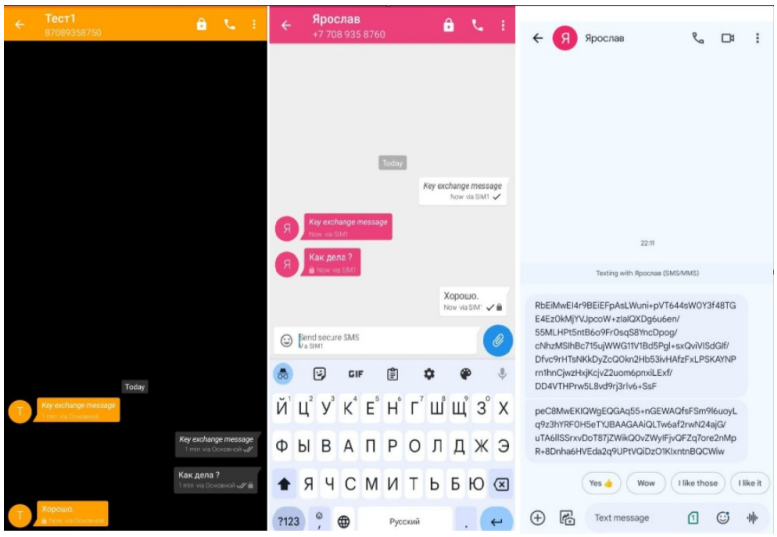


Рисунок 3. Чат двух пользователей и информация, доступная оператору

Заключение. Широкое использование мобильных устройств привело к интеграции SMS-сообщений в качестве удобного и эффективного средства коммуникации в различных секторах, включая личные, профессиональные и государственные. SMS-сообщения предлагают преимущества, такие как всеобщность, быстрая доставка, надежность и простота, что делает их подходящими для распространения важной информации, предоставления оповещений и оказания услуг. В рамках электронного правительства и бизнеса SMS-сообщения выступают важным средством для взаимодействия с гражданами и клиентами, предоставления государственных услуг и передачи критической информации. Они обеспечивают широкий охват аудитории, включая жителей отдалённых районов с ограниченным доступом к интернету, что делает их ценным инструментом для массовых оповещений. При этом использование SMS способствует защите данных и безопасности коммуникаций, благодаря шифрованию и устойчивости к возможным кибератакам. Такие меры усиливают доверие пользователей и защищают интересы бизнеса и государственных структур, снижая риски несанкционированного доступа и вмешательства в критически важные процессы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Закон Республики Казахстан от 5 июля 2004 года № 567-II О связи. - https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=1049207&pos=5;-106#pos=5;-106 (17.09.24)
2. Developing a Secure Model for Mobile Government Applications in Jordan . - https://dx.doi.org/10.18576/jsap/130110 (28.09.24)
3. Security Vulnerabilities in Bluetooth Security Verification of Instant Messaging Cryptographic Protocol . - https://www.springer.com/series/7899 (19.01.24)
4. Use of the Advanced Encryption Standard Algorithm for Encryption Short Message Service on Real Count Applications Protocol . - https://doi.org/10.1007/s41870-023-01210-0 (23.02.24)
5. SMS Encryption Application Using 3Des (Triple Data Encryption Standard) Algorithm Based on Android . - https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1363/1/012077 (28.09.24)
6. Silence messaging application . - https://silence.im/ (08.07.24)

Сейлова Нургуль Абадуллаевна – к.т.н., ассоциированный профессор, декан факультета Компьютерные технологии и кибербезопасность, IITU Международный университет информационных технологий; Алматы, Казахстан
nseilova@iitu.edu.kz

Оленников Ярослав Евгеньевич – магистарнт, IITU Международный университет информационных технологий
Алматы, Казахстан

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR ANALYZING, DETECTING, AND PROTECTING EXTERNAL THREATS TO CORPORATE RESOURCES

Kuatbay Aruana, Amanzholova S.T., Askarbekova N.Y., Kushkimbayeva D.K.
International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan

Abstract. *The main goal of this article is to strengthen the protection of corporate resources in response to advanced cyber threats. This work introduces a self-learning software application that integrates machine learning algorithms for detecting, analyzing, and safeguarding corporate assets. The application utilizes an Intrusion Detection and Prevention System (IDPS) to monitor network traffic, detect anomalies, and enhance security with two-factor authentication. This solution is specifically tailored to support small and medium-sized enterprises by offering accessible and efficient cybersecurity without extensive human oversight.*
Given the continuous growth in cyber threats, including corporate espionage and ransomware, the relevance of this study is exceptionally high. By employing machine learning for adaptive threat detection and real-time response, the project provides SMEs with a robust tool to minimize damage from cyber incidents and fortify their security posture amidst the increasing prevalence of attacks. [1][2].

Keywords: *SPLUNK, IDPS, DATABASE, PYTHON, MACHINE LEARNING, IDS, CYBERSECURITY.*

Introduction

This article, titled “Development of an Application for Analyzing, Detecting, and Protecting Corporate resources” in the face of sophisticated cyber threats, including corporate espionage and ransomware. It introduces a software application that utilizes self-learning mechanisms, particularly machine learning algorithms, to efficiently detect, analyze, and protect corporate assets. The project aims to develop a comprehensive solution, integrating an intrusion detection and prevention system (IDPS) for network traffic analysis, machine learning for anomaly detection, and two-factor authentication for enhanced account security. The primary objective is to provide small and medium-sized enterprises with an accessible and effective tool that improves information security, reduces reliance on human intervention, and ensures ease of management.
The relevance of this project is highlighted by numerous industry studies, including research conducted by Kaspersky Lab [3] and B2B International, which underscores the growing importance of robust security measures in an era of increasing cyber threats. By developing a custom system that integrates Intrusion Detection and Prevention technologies (IDPS), the project will deliver a proactive solution that monitors network traffic, identifies malicious activity, and autonomously blocks potential attacks. The scientific novelty lies in the system’s use of machine learning to continually adapt to evolving threats, unlike traditional static security systems.
The project’s objective is to enhance corporate resource protection by developing an application that minimizes human oversight while maximizing security through automated threat detection and response

1. Object of the research

To achieve this, the project involves analyzing existing security systems, identifying common vulnerabilities, and incorporating state-of-the-art technologies into a custom solution. This practical development has the potential to significantly improve the security landscape for businesses, offering a more dynamic and efficient defense mechanism against cyberattacks.

The number of attacks grows every day, and this is predicted to be growing. About 10,000 [2] new malware samples are produced every hour. You can see this assumption below (Figure 1).

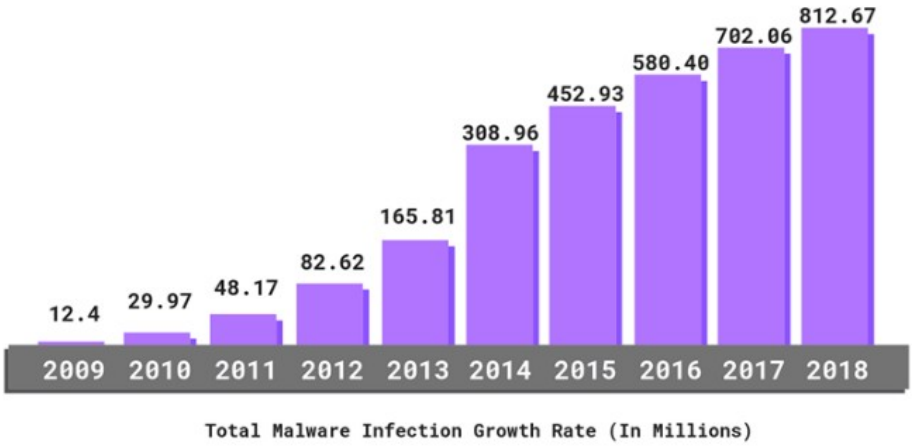


Figure 1 -Total malware infection

The rapid escalation of cyberattacks, with approximately 10,000 new malware variants emerging every hour, highlights the critical need for scalable security solutions. However, many small and medium-sized enterprises (SMEs) struggle to implement comprehensive Intrusion Detection Systems (IDS) and Intrusion Prevention Systems (IPS) due to high costs and the need for specialized expertise. In response, our project offers a security application that integrates both machine learning-driven IDS/IPS and a vulnerability assessment tool based on attack simulations. The solution aims to provide affordable, flexible protection for corporate resources without requiring deep cybersecurity knowledge from the user.

2. Analysis, design and implementation of the project

The development process follows the Agile methodology, allowing for iterative improvements to meet the dynamic nature of cybersecurity threats. This system employs machine learning algorithms [12] , including Gaussian Naive Bayes and Decision Tree classifiers, which are trained using data from real-time traffic and established cybersecurity datasets like CICIDS. This enables the system to detect both signature-based threats and new, emerging risks. Additionally, the application includes a simulation module for running various attack scenarios, such as DDoS, SQL injections, and aggressive port scanning, using tools like Kali Linux. These simulations allow businesses to identify weak points in their infrastructure before they are exploited in real-world attacks.

The system’s architecture is built on a robust PostgreSQL (Figure 2) database designed to store detailed logs of network traffic and user activity. This database structure supports real-time monitoring and response, integrating with tools like Splunk [10] for enhanced data analysis. The use of both signature-based detection and anomaly detection ensures comprehensive coverage of known and unknown threats. Furthermore, the system employs advanced security protocols, including two-factor authentication (2FA) via Google Authenticator, to safeguard user access. By providing an intuitive interface and automatic configuration features, our solution ensures that even organizations without dedicated cybersecurity teams can protect their resources effectively.

This database structure supports real-time monitoring and response, integrating with tools like Splunk [11] for enhanced data analysis.

The project employs the Python programming language [5] due to its versatility and readability, with PyCharm as the development environment. This IDE enhances productivity through built-in tools and features that support efficient coding practices. Python's object-oriented nature [6] and clear syntax promote code reuse and adaptability, making it a preferred choice in various domains, particularly in cybersecurity.

To develop an intuitive graphical user interface (GUI), the project utilizes QT Designer in conjunction with the PyQt [4] and PySide libraries. This combination facilitates rapid prototyping and implementation of complex graphical elements, streamlining the development process. As a result, the application boasts an interface that enhances user interaction and overall usability.

In the implementation phase, the application leverages machine learning methodologies to bolster its cybersecurity capabilities. By analyzing historical data, the integrated machine learning models can predict potential vulnerabilities and improve threat detection mechanisms. Key libraries employed include those for data manipulation (pandas, numpy), visualization (matplotlib, seaborn), and machine learning (sklearn, imblearn). These tools are essential for preprocessing and analyzing data, enabling the development of effective predictive models. Therefore, the already prepared model is loaded as needed.

```
for i, v in models:
    scores = cross_val_score(v, X_train, Y_train, cv=10)
    accuracy = metrics.accuracy_score(Y_train, v.predict(X_train))
    confusion_matrix = metrics.confusion_matrix(Y_train, v.predict(X_train))
    classification = metrics.classification_report(Y_train, v.predict(X_train))
    print()
    print('Evaluate the model'.format(i))
    print()
    print ("Cross Validation Mean Score:" "\n", scores.mean())
    print()
    print ("Model Accuracy:" "\n", accuracy)
    print()
    print("Confusion matrix:" "\n", confusion_matrix)
    print()
    print("Classification report:" "\n", classification)
    print()
```

Figure 3-Evaluating the model

Data normalization techniques, such as StandardScaler and LabelEncoder, ensure that the data input into the machine learning algorithms meets the necessary criteria for accurate model training and evaluation (Figure 3) .

Specifically, the application implements a Gaussian Naive Bayes classifier, which is adept at handling continuous data and providing reliable classification results. This probabilistic model is particularly beneficial in scenarios where the input data has high dimensionality, allowing the system to effectively classify potential threats [7].
Furthermore, to enhance security protocols, the application incorporates two-factor authentication (2FA) through Google Authenticator. This method strengthens user verification by requiring not only a username and password but also a time-sensitive one-time password (TOTP) generated on a mobile device. The implementation of 2FA significantly mitigates the risk of unauthorized access, reinforcing the application's overall security posture.

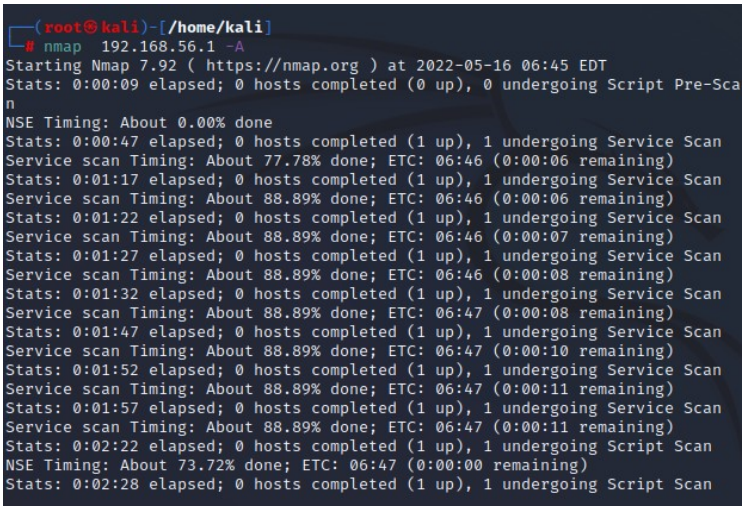


Figure 4- Example attack with using nmap tool

To simulate real threats, the Kali Linux [9] virtual machine was used to generate various types of attacks such as Sql Injection, XXS, Aggressive port scanning, etc.
This example (Figure 4) shows one of these methods, namely continuous network scanning. In the real world, this approach is used to gather information about the network architecture of various companies, identify vulnerable ports that can be accessed or attacked by sending a malicious file, or to generate endless Dos and DDos.
An essential aspect of the application’s architecture is its integration with Splunk, a robust platform for collecting and analyzing machine data [10]. This integration facilitates the monitoring and analysis of system logs, providing critical insights into security events and potential vulnerabilities. Splunk's ability to index and process data in real-time allows for comprehensive analysis, enabling security professionals to visualize trends, generate reports, and create alerts based on specific query results. The insights derived from Splunk's analysis contribute to informed decision-making in cybersecurity strategies, ultimately enhancing the application’s effectiveness in threat detection and response.

Figure 5-Splunk log page

3. Conclusion

Based on the analysis of existing cybersecurity solutions and the market, I conclude that the development of an affordable and efficient application for analyzing and protecting corporate data is feasible. Throughout this work, I analyzed existing cybersecurity solutions, assessed market needs, and proposed a more accessible system that automates threat detection and protection.
The introduction outlined the relevance of cybersecurity, particularly for companies with limited budgets for large-scale systems. The following sections provided a detailed analysis of current protection methods, identified gaps in existing solutions, and proposed the architecture of a flexible, user-friendly application. The architecture included key components such as database design, machine learning integration, and the use of technologies like Python, Splunk, and Qt Designer.

By comparing the strengths and weaknesses of existing systems, I identified opportunities for improvement in terms of functionality, affordability, and ease of use. I proposed development tools and libraries that would allow the system to be scalable and adaptable to evolving threats.

Reference list

1. *Wahal, M., Choudhury, T., Arora, M.* Intrusion Detection System in Python // 2018 8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence). – IEEE, 2018. – P. 348-353. (accessed on June 15, 2024).
2. *Tsukerman, E.* Machine Learning for Cybersecurity Cookbook: Over 80 Recipes on How to Implement Machine Learning Algorithms for Building Security Systems Using Python. – Packt Publishing Ltd, 2019. (accessed on July 10, 2024).
3. *Halder, S., Ozdemir, S.* Hands-On Machine Learning for Cybersecurity: Safeguard Your System by Making Your Machines Intelligent Using the Python Ecosystem. – Packt Publishing Ltd, 2018. (accessed on August 5, 2024).
4. *Summerfield, M.* Rapid GUI Programming with Python and Qt: The Definitive Guide to PyQt Programming (Paperback). – Pearson Education, 2007. (accessed on August 25, 2024).
5. *Pedregosa, F.* et al. Scikit-Learn: Machine Learning in Python // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – Vol. 12. – P. 2825-2830. (accessed on September 1, 2024).
6. *Sarkar, D., Bali, R., Sharma, T.* Practical Machine Learning with Python: A Problem-Solver's Guide to Building Real-World Intelligent Systems. – Berkeley: Apress, 2018. (accessed on September 15, 2024).
7. *Alfadel, M., Costa, D. E., Shihab, E.* Empirical Analysis of Security Vulnerabilities in Python Packages // 2021 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER). – IEEE, 2021. – P. 446-457. (accessed on September 25, 2024).
8. *Turner, S.* Security Vulnerabilities of the Top Ten Programming Languages: C, Java, C++, Objective-C, C#, PHP, Visual Basic, Python, Perl, and Ruby // Journal of Technology Research. – 2014. – Vol. 5. – P. 1. (accessed on October 1, 2024).
9. *Allen, L., Heriyanto, T., Ali, S.* Kali Linux: Assuring Security by Penetration Testing. – Packt Publishing Ltd, 2014. (accessed on October 5, 2024).
10. *Hristov, M.* et al. Integration of Splunk Enterprise SIEM for DDoS Attack Detection in IoT // 2021 IEEE 20th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA). – IEEE, 2021. – P. 1-5. (accessed on October 9, 2024).
11. *Saraf, K. R., Malathi, P. Cyber Physical System Security by Splunk // i-Manager's Journal on Communication Engineering and Systems. – 2020. – Vol. 9. – No. 2. – P. 41. (accessed on October 1, 2024).*

12. *Handa, A., Sharma, A., Shukla, S. K.* Machine Learning in Cybersecurity: A Review // Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery. – 2019. – Vol. 9. – No. 4. – P. e1306. (accessed on September 20, 2024).

Kuatbay Aruana
Kairatkyzy– student, IITU;
050040, Almaty; e-mail: 35015@iitu.edu.kz

Amanzholova Saule Toksanovna – Associate Professor, candidate of Technical Science, IITU;
050040, Almaty; e-mail: s.amanzholova@iitu.edu.kz

Askarbekova Nessibeli Yerkinkyzy – senior lecturer, IITU;
050040, Almaty; e-mail: n.askarbekova@iitu.edu.kz

Kushkimbayeva Diana Kuanyshkyzy -assistant
050040,e-mail: d.kushkimbayeva@iitu.edu.kz

ҚҰЖАТТАРДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ КӨП ФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ

Ахметова А.И.

e-mail: akhmetova.aidanaa@gmail.com

Қ.И. Сатпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Казақстан

Аннотация: *Мақалада құжаттарды басқару жүйесінің көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу және зерттеу мәселелері қарастырылған. Құжаттарды басқару жүйесіне қауіп төндіретін шабуылдар сипатталған. Шабуылдардың алдын алу мақсатында құжаттарды басқару жүйесіне көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу әдістері көрсетілген. Көп факторлы аутентификация жүйесінің басқа аутентификация жүйелерімен салыстырмалы талдауы, сонымен қатар көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу әдістері қарастырылған. Әзірленген көп факторлы аутентификация жүйесін зерттеу тестілеу жүйесін және аудит жүргізуді талап етеді. Зерттеу жүргізу құжаттарды басқару жүйесі үшін жоғары қауіпсіздікті, нормативтік талаптарға сай болуды, осалдықтардың алдын алуды қамтамасыз етеді.*

Кіріспе. Қазіргі кезде құжат айналымы жүйесі іс жүзінде әрбір ұйымның ажырамас бөлігіне айналды. Бүгінгі құжат айналымы - компанияның ақпараттық технология инфрақұрылымының маңызды құрамдас бөлігі. Бұл жұмыста үнемі қолданылатын құжаттардың саны күн сайын тез өсіп келе жатқандығына байланысты. Олардың барлығын жедел және сапалы өңдеу қажет. Құжат айналымы жүйесіне арналған көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу қосымша қорғаныс қабатын қосады, бұл пайдаланушылардан қол жеткізгенге дейін бірнеше тексеру формаларын ұсынуды талап етеді. Бұл ұрланған немесе әлсіз құпия сөздердің салдарынан рұқсатсыз кіру қаупін азайтады. Көп факторлы аутентификация рұқсат етілмеген адамдардың құпия ақпаратқа қол жеткізу мүмкіндігін айтарлықтай төмендетеді.

Құжат айналымы жүйесінде бірнеше аутентификация деңгейлерін пайдалану арқылы, тіпті бір элемент бүлінген немесе өшірілген болса да, пайдаланушы тіркелгісі қауіпсіз болып қалады. Құжат айналымы жүйесіне арналған көп факторлы аутентификация жүйесін тестілеу жүйенің қаншалықты жақсы жұмыс істейтінін және құпия ақпаратты қорғайтынын көрсетеді.

Мақаланың негізгі мақсаты - құжаттарды басқару жүйесінің көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу және зерттеу. Әзірлеу барысында құжаттарды басқару жүйесіне кері әсерін тигізетін қауіптерді анықтау, талдау және оларға баға беру қарастырылады. Көп факторлы аутентификацияны құрудың әдістері мен тәсілдері зерттеледі және салыстырмалы талдау жүргізіледі. Зерттеу барысында тестілеу, яғни аудит және бағалау жүргізіледі

Құжат айналымы жүйесіне қауіп төндіретін шабуылдар. Құжат айналымы - ұйымның ақпараттық технология-инфрақұрылымымен және дерекқорымен оңай интеграцияланатын икемді жоғары масштабталатын платформа. Құжат айналымын енгізудің мақсаты - бірнеше пайдаланушылардың бірыңғай өзара байланысты деректер базасымен бірлескен жұмысы кезінде кәсіпорынды басқарудың және оның жұмыс істеуінің тиімді ортасын құру.

Құжаттарды басқару жүйесіне әртүрлі шабуылдар жасалуы мүмкін. Шабуылдар рұқсатсыз қол жетімділікке, деректерді жоюға және өзгертуге, құпиялылыққа, тұтастыққа қауіп төндіруге бағытталады.

Шабуыл	Сипаттама	Мақсат	Қорғаныс шаралары	
Құпия деректердің сыртқа шығуы	Деректердің рұқсатсыз адамдарға кездейсоқ немесе қасақана жария болу әрекеті.	Құпия немесе жеке деректерді жариялау немесе тарату	Деректерді шифрлау Құпия деректерге қолжетімділікті бақылау Көп факторлы аутентификация	Құпиялылық
Фишинг	Жалған электрондық хаттар/ сайттар арқылы пайдаланушылардың құпия деректерін (логин, құпиясөз, банк мәліметтері) алу әрекеті	Жеке деректерді, қаржылық мәліметтерді немесе ұйымның ішкі ақпаратын ұрлау	Электрондық пошта сүзгілері Көпфакторлы аутентификация Антивирус және қауіпсіздік бағдарламалар	
DDoS	Желіні/серверді шамадан тыс жүктеп, оның заңды пайдаланушылар үшін қолжетімсіз ету әрекеті	Жүйені/ қызметті уақытша өшіру, пайдаланушыларға қолжетімсіз ету.	DDoS-қорғау қызметтерін пайдалану Желі архитектурасын оңтайландыру Rate Limiting	Қолжетімділік
DoS	Жүйені/желіні үлкен көлемдегі сұраныстармен шамадан тыс жүктеу арқылы қызмет көрсетуді тоқтатуға бағытталған әрекет.	Жүйе ресурстарын жүктеу арқылы оны, заңды пайдаланушыларға қолжетімсіз ету.	Трафикті фильтрлеу және бұғаттау Қызметтердің артықшылығын қамтамасыз ету	
DNS Spoofing	Жүйенің IP-адрестерін бұрмалап, пайдаланушыларды жалған веб-сайттарға бағыттау әрекеті.	Қолданушыларды жалған веб-сайттарға бағыттап, олардың деректерін алу/жалған ақпаратты тарату.	DNSSEC (DNS Security Extensions) пайдалану Рекурсивті DNS серверлерін қорғау Трафикті бақылау	Тұтастық
Data Injection	Жүйеге жалған мәліметтер енгізу әрекеті.	Жүйеге жалған немесе зиянды мәліметтер енгізу арқылы оның жұмысын бұзу.	Деректерді тексеру және фильтрлеу: Параметрленген сұраныстар (Prepared Statements) қолдану	

Кесте -1. Құжаттарды басқару жүйесіне шабуылдар

Көпфакторлы аутентификация. Көп факторлы аутентификация компьютерлік жүйеде аутентификация үшін құпия сөзден бөлек қорғанысты қолдануды білдіреді. Құжаттарды басқару жүйесінде болсын немесе кез келген жүйелерде қолданушылардың тіркелгі ақпараттарын қорғау үшін сенімді құпия сөзге қосымша ретінде көп факторлы аутентификацияны қолданған дұрыс.

Параметр	Бір факторлы аутентификация	Көп факторлы аутентификация	Мінез-құлық аутентификациясы
Аутентификация факторы	1(мысалы құпия сөз)	2 немесе одан да көп (құпия сөз + SMS)	Мінез-құлық деректерінің анализі
Қауіпсіздік деңгейі	Төмен	Жоғары	Орташа-жоғары
Ыңғайлылық	Жоғары	Орташа	Өте жоғары

Осалдылық	Жоғары	Төмен	Жалған позитивтер мүмкін
Шығындар	Төмен	Жоғары	Жоғары
Қолданылуы		Банктер жүйесі, корпоративтік желілер	Онлайн-банкинг, бағдарламалар

Кесте -2. Салыстырмалы таңдау

Салыстырмалы таңдаудың нәтижесі бойынша:

- Бір факторлы аутентификация ыңғайлы, бірақ көп шабуылдарға (фишинг, құпия сөздерді ұстап қалу) осал болып келеді;
- Көп факторлы аутентификация жеткілікті деңгейде жоғары қауіпсіздік деңгейін көрсете алады;
- Мінез-құлық аутентификациясы қолданушылар үшін ыңғайлы, бірақ қиын технологияларды талап етеді.

Google research зерттеуі бойынша, көп факторлы аутентификация бір факторлы аутентификацияға қарағанда автоматтандырылған боттардың жағдайымен 100% шабуылдардың алдын алған.

Демек, көп факторлы аутентификация құжаттарды басқару жүйесінің қауіпсіздік деңгейін арттырады және қосымша қорғаныс механизмдерін қосады.

Көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу әдістері. Құжаттарды басқару жүйесіне арналған көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу аутентификация типін таңдау, басқа жүйелермен байланысын қалыптастыру секілді комплекстік шаралардан тұрады. Сонымен қатар, қолданушыларға қолданғанда ыңғайлы және жоғары қауіпсіздікті қамтамасыз ете білуі қажет.

Құжаттарды басқару жүйесіне арналған көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеудің негізгі кезеңдері мен әдістері:

- Ең алдымен, құжаттарды басқару жүйесіне сай келетін аутентификация жүйесін анықтау. Құпия ақпараттармен жиі жұмыс жасайтындықтан ақпараттардың жоғары қауіпсіздігін қамтамасыз ететін факторларды таңдаған дұрыс. Факторлар ретінде қарайтынымыз:

1) Құпия сөз. Басқа факторлармен байланысу кезіндегі негізгі фактор.
2) Биометрия. Қауіпсіздікті күшейту үшін қолданылатын екінші негізгі фактор.
3) Аппараттық токендер. Құжаттарды басқару жүйесіне кіру үшін бір реттік кодтар немесе физикалық токендер.

- Көпфакторлы аутентификация жүйесінің құрылымын жасау. Атап айтқанда, жүйеге кіру процесін жеңілдету үшін бірлік аутентификация жүйесімен байланысу.
- Арнайы сенімді және стандартталған аутентификация протоколдарын таңдау іске асыру кезінде оң әсерін тигізеді.
- Аутентификация факторларын байланыстыру. Мысалы, құпия сөздер немесе бір реттік құпия сөздер, биометриялық аутентификация және тағы басқа.
- Қауіпсіздік және қауіптерді басқара алу. Әртүрлі шабуылдарға қарсы қорғаныс шараларын ұйымдастырып, тұрақты болу.

Қауіпсіздікті күшейту шаралары:

1) Деректерді шифрлау
2) Қолданушылардың белсенділіктеріне мониторинг және күмәнді іс-қимылдарды бұғаттау
3) Әлеуметтік инженерия шабуылынан қорғаныс

- Осалдықтарға тестілеу және тексеріс жүргізу. Құжаттарды басқару жүйесіне және көп

факторлы аутентификацияға тексеріс жүргізу осалдықтардың анықталуы үшін маңызды.

- Қызметкерлерге үйрету сабақтарын жүргізу. Яғни, қауіпсіздік жүйелерін және аутентификациямен жұмыс жасау тәртіптерін үйрету.

Қорытынды. Мақалада құжаттарды басқару жүйесінің көп факторлы аутентификация жүйесін әзірлеу және зерттеу мәселелері қарастырылды. Құжаттарды басқару жүйесіне қауіп төндіретін шабуылдар сипатталды. Шабуылдардан қорғаныс шаралары да талданды. Көп факторлы аутентификация жүйесінің басқа аутентификация жүйелерімен салыстырмалы талдауы келтірілді. Салыстырмалы талдау нәтижесі бойынша көп факторлы аутентификация жоғары қауіпсіздікті қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, аутентификация жүйесін әзірлеу кезеңдері анықталып, әр кезеңге сипаттама берілді. Құжаттарды басқару жүйесінде ақпараттардың қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін әрдайым сенімді, шабуылдарға осал емес, қауіпсіздікті толық қамтамасыз ететін аутентификация факторын, яғни, көп факторлы аутентификацияны қолданған дұрыс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чужиков, Н.О. Многофакторная аутентификация / Н.О. –Текст : непосредственный / / Молодой ученый. – 2022. – № 21 (416). – С. 226 – 228.
2. Столфи, Ф. Протоколы аутентификации и управления доступом. – М.: Бином, 2020. – 288 с.
3. Ульман, К. Цифровая аутентификация: Руководство по внедрению безопасных систем. – М.: ДМК Пресс, 2018. – 352 с.
4. Лопатин, В. Н. Криптографические методы защиты информации. – М.: Юрайт, 2015. – 640 с.
5. Головин, С. В. Защита информации в компьютерных системах. – СПб.: Питер, 2017. – 416 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРОТОКОЛА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ СУПЕРПОЗИЦИИ

Е.Е. Бегимбаева[1,3], Т.М. Жаксалыков[1,2*], А.А. Ахтанов[1,2], Р.С. Пашкевич[1,2], О.А. Усатова[1,3], М.Т. Аршидинова[1,3]
e-mail: enlik_89@mail.ru, zhaxalykov8@gmail.com
[1]*Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет имени К.И. Сатпаева, Казахстан*
[2] *Казахстанско - Британский Технический Университет, Казахстан*
[3] *Институт Информационных и Вычислительных Технологий КН МНВО РК, Казахстан*

Аннотация. *В статье приведена реализация квантового протокола распределения ключей E91, который основан на фундаментальных принципах квантовой механики. Данный протокол выделяется как многообещающий метод обеспечения информационной безопасности. Протокол E91, используя свойства квантовой неделимости и индетерминизма, обладает потенциалом обеспечить надежную и гарантированную передачу данных. Для реализации протокола E91 было использовано математическое и компьютерное моделирование. Был проведен обзор литературы и анализ предыдущих исследований в области квантовой криптографии и методов распределения ключевой информации. Данное исследование может способствовать усовершенствованию протокола E91 и играет важную роль в обеспечении информационной безопасности в современных коммуникационных системах.*

Ключевые слова: *квантовая запутанность, квантовое распределение ключей, квантовая криптография, квантовый вентиль, кубит, квантовая схема.*

Введение

В условиях роста числа кибератак и угроз безопасности современные криптографические системы сталкиваются с новыми вызовами. Децентрализованный протокол квантового распределения ключей (DQKDP) 1.0 на основе принципа суперпозиции предлагает инновационный подход к защите данных. Используя квантовые состояния для передачи ключей, DQKDP обеспечивает высокую степень безопасности, невосприимчивую к перехвату и вмешательству. Программа реализована на языке Python и рассчитана на использование в государственных и частных структурах для защиты конфиденциальной информации.

РЕАЛИЗАЦИЯ DQKDP 1.0

1 Этап предварительной настройки и подготовка кубитов

Протоколы квантового распределения ключей (QKD), такие как BB84 и E91, являются основой современных криптографических решений. BB84, предложенный Беннетом и Брассаром, использует поляризацию фотонов для передачи ключей, а E91, разработанный Эккертом, опирается на запутанные состояния частиц [1][2]. Оба протокола доказывают, что передача ключей по квантовому каналу предоставляет возможность надёжной защиты информации, поскольку попытка перехвата нарушает состояние кубитов и легко обнаруживается. DQKDP 1.0 расширяет эти идеи, предлагая децентрализованную схему распределения ключей на основе суперпозиции [3].

Процесс предварительной настройки включает:

1. Согласование длины ключа: Участники (например, Алиса и Боб) используют классический канал связи, чтобы договориться о длине будущего ключа. Это важно для синхронизации процесса и гарантии, что каждый участник генерирует одинаковое количество битов.

2. Выбор начальных параметров: Для создания уникальных состояний каждый участник генерирует случайные битовые последовательности. Эти последовательности затем кодируются в квантовые состояния. В DQKDP применяется Z-базис, в котором состояния $|0\rangle$ и $|1\rangle$ представляют стандартные битовые значения.

3. Применение гейта Адамара: Чтобы перевести кубиты в состояние суперпозиции, на них применяется гейт Адамара. Например:

$$H|0\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}(\vee 0\rangle+¿1\rangle),H|1\rangle=\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle-¿1\rangle)$$

В результате каждое состояние кубита становится не определённым и одновременно представляет и $|0\rangle$, и $|1\rangle$, что затрудняет перехват данных.

4. Использование операции вращения $R_x(\theta)$: Чтобы обеспечить уникальность каждого состояния, применяется оператор вращения:

$$R_x(\theta)=\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)I+i\sin\left(\frac{\theta}{2}\right)X$$

где I — единичная матрица, а X — оператор Паули. Вращение по оси X создаёт разные вероятности измерения состояний, что дополнительно усложняет их анализ без вмешательства.

То есть, результатом этапа подготовки кубитов является множество квантовых состояний, готовых к передаче через канал связи. Важное свойство такого подхода состоит в том, что любое вмешательство или перехват немедленно фиксируется из-за изменений в состоянии кубитов.

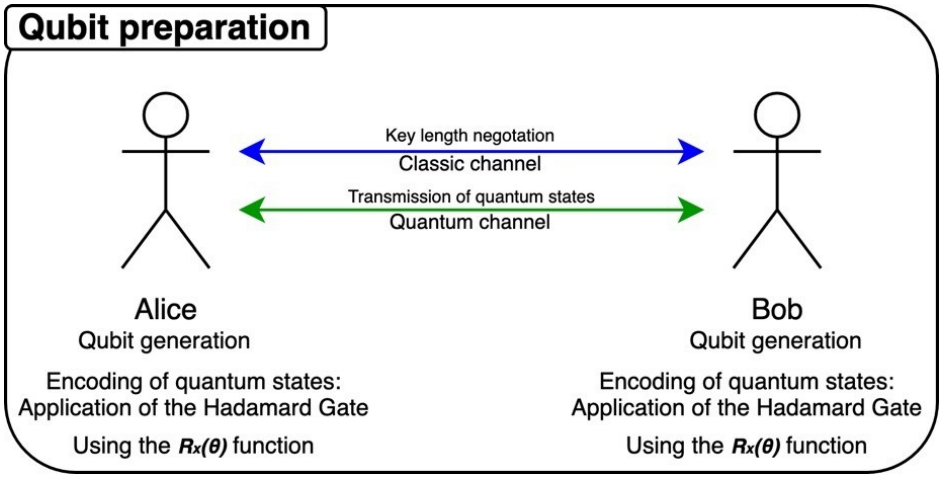


Рис.1. Генерация начальных параметров и настройка протокола для участников

2. Обработка кубитов и извлечение ключа

Этот этап является критическим, так как он определяет успешность передачи ключа и его защищённость от перехвата. Кубиты передаются через квантовый канал, где каждый кубит измеряется сразу после доставки. Важно, что сам факт измерения приводит к коллапсу волновой функции кубита в одно из двух возможных состояний – $|0\rangle$ или $|1\rangle$. Если

злоумышленник попытается перехватить кубит, он неизбежно изменит его состояние, и этот факт будет зафиксирован при проверке результатов измерений у участников.

После завершения измерений Алиса и Боб обмениваются результатами через классический канал связи. Они сравнивают свои измеренные значения кубитов, чтобы исключить все несовпадающие биты (что могло произойти в случае вмешательства). Затем оставшиеся совпадающие биты используются для создания итогового ключа с помощью операции XOR, например, если измеренные биты у Алисы и Боба — 11001 и 10011, то итоговый ключ после применения XOR будет 01010.

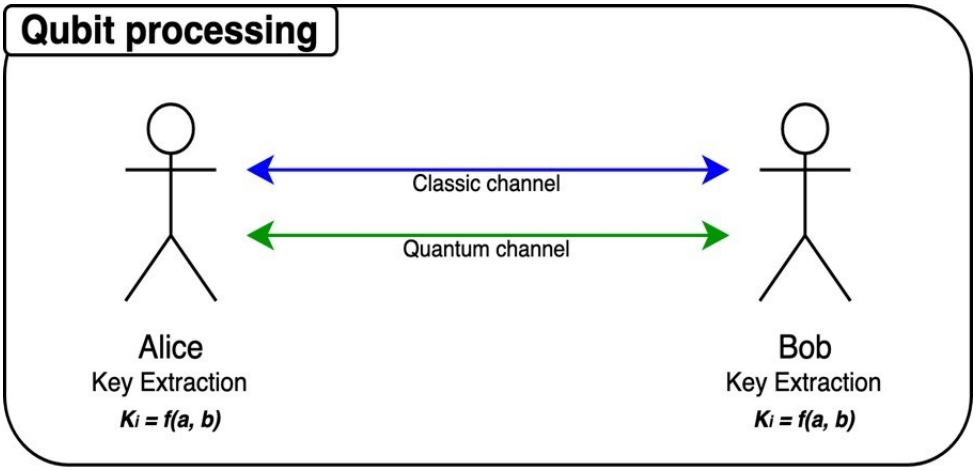


Рис. 2. Передача и измерение кубитов, применение XOR для формирования ключа

3. Результаты формирования ключа

Результат работы протокола — уникальный криптографический ключ, который может использоваться для шифрования и защиты данных. За счёт квантовых свойств протокола, таких как принцип суперпозиции и невозможность точного измерения состояния без его изменения, ключ надёжно защищён от вмешательства. Даже малейшая попытка перехвата меняет квантовые состояния кубитов, что делает вмешательство очевидным.

Процесс формирования ключа в DQKDP особенно важен, поскольку каждый сформированный ключ уникален и не может быть повторно использован. Это гарантирует, что даже если злоумышленник получит доступ к одному из ключей, это не повлияет на безопасность других сеансов.

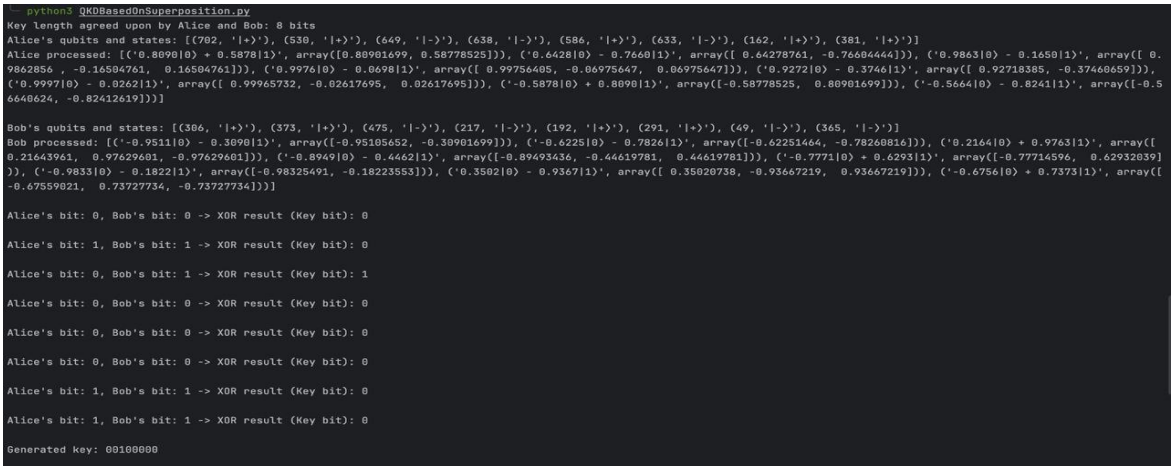


Рис. 3. Результат получения итогового ключа

4. Программная реализация и технические требования

Программа DQKDP 1.0 написана на языке Python и поддерживает выполнение на любой операционной системе Windows (7/8/10/11). Основные требования к системе включают процессор с частотой 600 МГц и 256 МБ оперативной памяти. Однако для оптимальной работы рекомендуется использовать процессор с частотой 2 ГГц и 4 ГБ ОЗУ.

Исполняемый файл программы занимает всего 4 КБ и может быть легко интегрирован в существующую IT-инфраструктуру. Использование квантовых каналов в сочетании с классическим обменом данными делает протокол устойчивым как к классическим, так и к квантовым атакам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

DQKDP 1.0 демонстрирует инновационный подход к распределению криптографических ключей с использованием квантовых свойств. Протокол защищает от перехвата благодаря суперпозиции и использованию операции XOR. Это решение особенно актуально в условиях роста угроз безопасности и появления квантовых вычислений. Возможности лёгкости интеграции делают протокол перспективным для использования в современных и будущих сетях.

Данное исследование подготовлено в рамках проекта AP19675961 «Разработка и исследование протоколов распределения ключей на основе квантовых свойств», который реализуется в Казахском национальном исследовательском техническом университете имени К.И.Сатпаева.

Список литературы

[1] - Bennett, C. H., Brassard, G. (1984). Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems, and Signal Processing, Bangalore, India, pp. 175–179.

[2] - Ekert, A. K. (1991). Quantum cryptography based on Bell’s theorem. Physical Review Letters.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОГОВОЙ СХЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕКРЕТОВ

Ш. Абдалы[1], С.Б. Бейсенова[1,2], Н. Капалова[2]
[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
[2]Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан
E-mail: shyngys.abdaly@gmail.com, csaltanat.erkebulan@gmail.com, nkapalova@mail.ru

Аннотация. В данной статье обсуждается безопасность конфиденциальных данных в сервисах предоставляемые провайдерами облачных технологий. Использованием схемы разделения секрета на базе непозиционных полиномиальных систем счисления можно установить контроль над доступом к данным пользователей. Без участия пользователя поставщик облачных услуг не может восстановить личные данные пользователя. Это решение может обнаружить мошенническое поведение провайдера облачных сервисов в системе.

Ключевые слова: облачные вычисления; китайская теорема об остатках; обмен секретами; непозиционные полиномиальные системы счисления.

Введение

Личная информация каждого пользователя является конфиденциальной, поэтому облачные системы должны обеспечивать целостность и надежную защиту данных пользователя. Перед тем как обсуждать безопасность данных пользователей в облаке, надо дать определение облачным вычислениям. Облачные вычисления - это предоставление удобных вычислительных услуг пользователям через Интернет [1]. Основные возможности облачных вычислений очевидны в работе предприятий. Для бизнеса не нужно тратить деньги на покупку мощного сервера, установку программного обеспечения на компьютер и их обновления. Предприятия платят только за те услуги которыми пользуются. Для работы с большой базой данных, для обработки информации в ней, ее можно дифференцировать. Кроме того, инструменты, необходимые для работы сотрудников компании, автоматически предоставляются через веб-сервис. Сотрудники компании могут работать без физической привязки к месту работы, соединившись с любого устройства который подключен к интернету. Облачные вычисления важны для малого и среднего бизнеса с точки зрения времени и денег, так как экономит эти ресурсы. Каждый человек, который пользуется смартфоном использует сервисы облачных вычислений.

Очень часто мы сохраняем свои личные данные, зачастую конфиденциальные, в облачных хранилищах. Эти данные защищены на уровне сети, а также посредством криптографических шифров, которые отвечают требованиям стандартов безопасности в облачных вычислениях. Поэтому можно предположить, что эти данные защищены от атак злоумышленников. Но, провайдеры, которые предоставляют сервисы облачных технологий имеют неограниченный доступ к этим данным.

Поскольку пользователь полностью не доверяет поставщику облачных услуг, он не может полагаться на контроль доступа на стороне сервера поставщика и должен реализовать контроль доступа, шифруя данные и контролируя возможности расшифровки этих же данных. Поэтому необходим инструмент, который обеспечит безопасность от несанкционированного доступа к конфиденциальным данным пользователей облачными поставщиками.

На практике для устранение этих проблем предлагают разные решения, один из них является контроля доступа данным с использование схему разделение секрета. Где применяется принцип совместного использования секрета для эффективного управления им (ключом дешифрования личных данных пользователя), хранимым пользователем в облаке, и его тайного распространения.

Совместное использование секрета или разделение секрета предложенный Ади Шамиром в 1979 году в настоящее время один из часто используемых схем в криптографии. Алгоритм предполагает использования пороговой схемы разделения секрета между t пользователями. Чтобы восстановить секрет минимально потребуется k сторон, даже в случае если (k-1) пользователей используют свои доли, данная схема не позволит получить секрет [2]. Преимуществом данной схемы является то, что секрет может быть восстановлен только тогда, когда заранее определенное количество долей секрета будет объединено вместе. При помощи данного алгоритма обеспечивается безопасная работа таких сервисов как электронное голосование, авторизация [3], групповые электронные подписи и т.д. А также активно исследуются в новейших технологиях как блокчейн [4] и облачные вычисления [5]. Основной принцип работы данной схемы схож с использованием интерполяции многочлена. Если известно меньшее количество точек, то предполагается, что интерполяция будет невозможной [6]. К примеру, для получения параболы необходимо минимально иметь три точки в координате. Имея меньшее количество точек, можно получить неограниченное число парабол, но для нахождения конкретной параболы необходимо иметь третью точку [7].

Основная идея заключается в том, чтобы разделить секрет между пользователем и провайдерами, так чтобы специальная доля секрета будет у пользователя, без которой секрет не может быть восстановлен. В данной статье мы предлагаем использовать схему разделения секрета на базе непозиционных полиномиальных систем счисления (системы остаточных классов).

Непозиционные полиномиальные системы счисления

В отличие от классических систем в остаточных классах предлагаемые криптографические процедуры рассматриваются в полиномиальных системах счисления в остаточных классах, в которых основаниями служат не простые числа, а неприводимые многочлены над полем $GF(2)$.

Построение непозиционных систем счисления основано на использовании Великой китайской теоремы об остатках, доказанной в I веке китайским математиком Сун Це [8].

В качестве оснований непозиционной системы с полиномиальными основаниями, как указывалось выше, выбираются неприводимые многочлены над полем $GF(2)$. Операции сложения и умножения в поле $GF(2)$ являются сложением и умножением по модулю 2 и обозначаются соответственно $\oplus$ и $\otimes$. Операции сложения и вычитания в поле $GF(2)$ совпадают с операцией сложения по модулю 2.

Рассмотрим непозиционную полиномиальную систему счисления, в которой основаниями (рабочими) взяты неприводимые многочлены $p_1(x), p_2(x),\ldots, p_n(x)$. Пусть $\alpha_1(x),\alpha_2(x),\ldots,\alpha_n(x)$ - остатки от деления многочлена $N(x)$ на основания $p_i(x), i=\overline{1,n}$. Тогда полином $N(x)$, по аналогии с системой счисления в остаточных классах с попарно простыми основаниями, представляется в виде вычетов от деления $N(x)$ на выбранную систему оснований $p_1(x), p_2(x),\ldots, p_n(x)$:

$$N(x)=(\alpha_1(x),\alpha_2(x),\ldots,\alpha_n(x)), \quad (1)$$

где

$$\alpha_i(x)=N(x)-\left[\frac{N(x)}{p_i(x)}\right]p_i(x),\ \ i=\overline{1,n}. \tag{2}$$

Если степень основания $p_i(x), i=\overline{1,n}$ равна m_i, то максимальная степень соответствующих ему вычетов равна m_i-1. Поэтому количество двоичных разрядов, необходимое для представления вычета $\alpha_i(x), i=\overline{1,n}$ (2), равно степени его основания, тогда количество остатков по этому основанию равно количеству многочленов, которое можно представить с помощью указанных выше двоичных разрядов, т. е. равно 2^{m_i}. Таким образом, в полиномиальной системе счисления “информационная” избыточность отсутствует, и это позволяет использовать все возможные комбинации по каждому основанию.

В [9-10] показано, что алгебра полиномов над некоторым полем по модулю неприводимого над этим полем многочлена является полем и представление полинома в виде (1) является единственным (аналог китайской теоремы об остатках для многочленов), а также определены правила выполнения арифметических операций в полиномиальной системе и восстановление многочлена по его остаткам.

Нетрадиционные методы и алгоритмы криптографии, построенные на базе непозиционных полиномиальных систем счисления, позволяют существенно повысить надежность схемы разделение секрета.

Таким образом мы получили исходный секрет *C*. Как было показано на примере с использованием схемы разделения секрета на базе непозиционных полиномиальных систем счисления, секрет можно восстановить только участием всех пользователей, численность которых удовлетворяют порог, указанный в задаче. В ином случае, получить секрет было бы невозможно.

Заключение

Предоставляемые услуги облачных технологий сильно упрощает жизнь пользователей. Развитием облачных вычислений, растет количество облачных провайдеров, которые предоставляют эти сервисы. Обычным пользователям остается довериться лишь репутации данного провайдера, чтобы избежать кражи личных данных. Поэтому безопасность в облаке с этой точки зрения является актуальной. Необходим механизм, который предотвращает доступ к конфиденциальным данным пользователей без разрешения самого пользователя. В данной статье мы предлагаем использовать схему разделения секрета на базе непозиционных полиномиальных систем счисления. Секрет распределяется между пользователем и провайдерами, так чтобы специальная доля секрета будет у пользователя, без которой секрет не может быть восстановлен. Это справедливо, так как владельцем этих данных является сам пользователь, а не провайдер, который является лишь поставщиком услуг и не должен владеть личными данными пользователей.

Для наглядности и понимания механизма который был предложен нами, мы привели пример с использованием неприводимых полиномов в схеме разделения секрета.

Выбор непозиционной системе с полиномиальными связано тем, что нет избыточности, которая присутствует при использование положительные целые числа. Система счисления в остаточных классах с попарно простыми основаниями $p_1, p_2, \ldots, p_n$ обладает “информационной” избыточностью. Вычеты по основаниям системы p_i, $2^{n-1}<p_i<2^n$ записываются в n двоичных разрядах, но так как полная система вычетов по

модулю p_i содержит p_i-1 элементов, то $2^n-(p_i-1)$ комбинаций, возможных для записи в n разрядах, не используются, т.е. являются избыточными.

Благодарность. Исследовательская работа выполнена в рамках проекта программно-целевого финансирования BR24993052 Разработка и исследование криптографических алгоритмов для защиты информации в системах с ограниченными ресурсами и оценка их стойкости

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] De Donno M., Tange K., Dragoni N. Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge, and Fog // IEEE Access. IEEE, 2019. Vol. 7. P. 150936–150948.

[2] Asmuth C, Bloom J. A modular approach to key safeguarding[J]. Information Theory IEEE Transactions on, 1983, 29(2):208-210.

[3] Shamir A. How to share a secret (англ.) // Commun. ACM — [New York]: Association for Computing Machinery, 1979. — Vol. 22, Iss. 11. — P. 612—613. — ISSN 0001-0782 — doi:10.1145/359168.359176

[4] Narad, S. K., Sayankar, M. R., Alone, S. V., & Mahiskar, P. S. (2017). Secret sharing scheme for group authentication — A review. 2017 International Conference of Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). doi:10.1109/iceca.2017.8203663

[5] Chakrabarty B. Blockchain and Its Applications : A Systematic Review. 2020. Vol. 6, № 5. P. 3128–3135

[6] Yang Y., Du W. Secret sharing scheme based on Chinese remainder theorem in cloud computing // Proc. - 2019 4th Int. Conf. Mech. Control Comput. Eng. ICMCCE 2019. 2019. P. 618–621

[7] Чмора А.Л. Современная прикладная криптография. — 2-е изд., стер.. — М.: Гелиос АРВ, 2002. — С. 123—124. — 256 с. — ISBN 5-85438-046-3

[8] Ишмухаметов Ш. Т. Методы факторизации натуральных чисел: учебное пособие — Казань: Казанский университет, 2011. — 190 с.

[9] Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Советское радио, 1968.- 439 с.

[10] Бияшев Р.Г. Разработка и исследование методов сквозного повышения достоверности в системах обмена данными распределенных АСУ: дисс. докт. тех. наук: 05.13.06: защищена 09.10. 1985: утв. 28.03.1986 / Бияшев Рустем Гакашевич. – М., 1985. - 328 с.

THE IMPLEMENTATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR REVEALING MALWARE THREATS

Aidana Zhumabekova[1,2], Vladislav Karyukin[1,2], Olga Ussatova[1,3], Kuanysh Zhumabekova[4], Nikita Ussatov[1,5]

[1]Institute of Information and Computational Technologies, Almaty, Kazakhstan,
[2]Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,
[3]G.Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan,
[4]Almaty Academy of the Ministry of Internal Affairs named M. Esbulatov, Almaty, Kazakhstan,
[5]Turan University, Almaty, Kazakhstan

The increase in the number of cyber threats and attacks has underscored the critical need for comprehensive information security measures to ensure data confidentiality, integrity, and operational resilience. Malware, one of the most prevalent categories of cyber threats, is purposefully crafted to disrupt systems, compromise data environments, and gain unauthorized access to networks and sensitive information. Various forms of malware, such as viruses, worms, trojans, spyware, and rootkits, represent a persistent and evolving threat. These threats often spread rapidly through the Internet or via removable media, making their detection and containment essential for cybersecurity. Traditional, signature-based detection methods, although effective against known threats, struggle to identify newly emerging malware. Modern machine learning-based approaches provide a more adaptive solution by learning from extensive datasets, enabling detection without relying solely on predefined signatures. This research introduces a machine learning-based malware detection system developed with a diverse malware dataset. The study covers such machine learning algorithms as Naïve Bayes, Support Vector Machine, and AdaBoost to optimize malware detection accuracy. The research demonstrated that the Naïve Bayes model, while straightforward, attained the lowest performance score of 0.79. In contrast, the SVM and AdaBoost models showed substantial improvement, with accuracy scores of 0.95 and 0.96, respectively. AdaBoost led in overall performance with an accuracy of 0.96, excelling in balancing misclassification errors, and achieved precision and recall scores of 0.96 as well. This consistency in precision and recall highlights AdaBoost's reliability in identifying true positives while effectively minimizing false positives, a crucial factor in cybersecurity applications. These findings indicate that machine learning algorithms remain highly effective for classification tasks within cybersecurity, with AdaBoost and SVM offering robust, well-rounded performance. Future research will focus on expanding the range of cyber threats within the dataset, such as phishing and ransomware, to further refine the adaptability and scalability of machine learning solutions for comprehensive cybersecurity protection.

Keywords: malware, information security, machine learning, Naïve Bayes, Support Vector Machine, AdaBoost

Introduction

Information technologies, the Internet, and mobile devices have become integral to everyday life in the digital age. In recent years, their rapid development has led to an exponential growth in big data and the amount of information being transmitted, as well as an increase in the number and complexity of cyber threats [1]. Malware has become a global problem for users, organizations, and countries, as it can devastate systems and networks. This type of threat is a program created by attackers to hack data, steal information, and control devices without the user's permission. There are many types of malware, and each has its characteristics and methods of operation. Depending on the execution, they are divided into hidden or aggressive types. Malware types include viruses, worms, trojans, spyware, and more. These types of threats perform tasks such as stealing, destroying, and changing personal data, causing significant damage to both the economy and society. Damage to big data, loss of confidential data, leakage of confidential information,

and system or network downtime can lead to substantial financial costs for large organizations and loss of trust and communication between customers and partners. Moreover, the theft of confidential data can cause irreparable damage to individual users.

For users and organizations, detection and protection from malware is of great importance to ensure the security of information systems. It is essential to use high-tech analysis. The emergence of new types of malware and their complexity led to the insufficient use of only existing traditional methods, and standard methods can no longer provide complete security. Recently, it has been necessary to move on to various techniques that can detect new types of malware that are more advanced in their nature. Therefore, methods based on machine learning and neural networks have come to the rescue as effective and reliable [2]. In cybersecurity and malware detection, artificial intelligence, particularly machine learning and neural networks, is promising and in demand. Because it is very effective in classifying and identifying complex patterns, it can detect hidden dependencies and deviations in data, so neural networks and machine learning models can effectively analyze large amounts of data, distinguish between malicious and non-malicious classes, and achieve high detection accuracy.

To solve the malware detection problem, there are many models based on machine learning and deep learning for threat classification [3]. One of the most common and basic algorithms is the Naive Bayes algorithm, which applies Bayes' theorem with the assumption of conditional independence of signs. Naive Bayes is convenient for fast classification due to its minimal computational requirements. Although Naive Bayes is easy to implement, this method has the limitation that features are rarely independent in real-world data. However, it has shown good performance in malware classification problems where feature sets can be assumed to be approximately independent. Adaptive Boosting (AdaBoost) is a method created by combining several simple models that are widely used for malware detection [4]. AdaBoost adapts to data by training weak classifiers on examples misclassified by their predecessors. Malware can learn complex dependencies between features and adjust to the data, thus becoming resilient to changes in malware behavior. Considering these properties, the AdaBoost method is considered to be an effective threat detection tool in the context of cybersecurity. Support Vector Machine (SVM) is a powerful classification algorithm. SVM finds the optimal hyperplane to separate classes in the feature space by maximizing the distance between the closest points of different classes. This method is suitable for high-precision problems and high-dimensional data. SVM is often used in the cybersecurity field. Although SVM does not easily distinguish data, it can find clear boundaries between malicious and benign software. Although Naive Bayes, AdaBoost, and SVM are different classification approaches, each has unique advantages. While Naive Bayes provides high processing speed, AdaBoost can demonstrate confidence in the adaptive approach, and SVM can find accurate boundaries between classes. These proposed models can cover a wide range of data features and can be used together to improve malware detection accuracy. In conclusion, using Naive Bayes, AdaBoost, and SVM algorithms allows us to create effective threat detection systems.

1. Literature review

In the paper [5], the authors classified malware using Random Forest, XGBoost, Gradient Boosting, AdaBoost, and Decision Tree models. They trained and tested these machine-learning models. As a result, Random Forest was the most effective model, providing a very high accuracy

rate of 99.99%. The XGBoost model achieved the following best result, with the accuracy of the result reaching 99.68%. The accuracy results of the following models: Decision Tree 99.57%, Gradient Boosting 99.09%, and AdaBoost 98.87%. The paper [6] considers several machine learning models: Naive Bayes, K-Nearest Neighbor, Average One Dependency Estimation, Random Forest, and Support Vector Machine. The effectiveness of the methods was evaluated by F1 score, precision, recall, and accuracy metrics. The Canadian Cybersecurity Institute provides the dataset provides the dataset. In detecting PDF malware, the K-Nearest Neighbor model achieved the highest result, with an accuracy of 99.86%. In comparison, Naive Bayes achieved the lowest result, with an accuracy of 98.51%. The average single dependency estimator achieved 99.61%, the support vector machine achieved 99.45%, and the random forest achieved 99.84%. Due to users' widespread adoption of Android smartphones, malicious attacks on the Android platform are increasing and becoming more complex. That is why many researchers have been working on Android malware detection and conducting research recently. One of them, the researchers in the paper [7], showed that using machine learning algorithms (random forest, decision trees, logistic regression, support vector machine, and K-nearest neighbor) to detect Android malware using multiple datasets is effective. On the CIC_MALDROID2020 dataset, the Random Forest, Decision Trees, and Support Vector Machine algorithms achieved a high accuracy of 98%. In the research paper [8], an in-depth study was conducted on the use of the Random Forest algorithm for Android malware detection. The accuracy of 98.47%, sensitivity of 98.60%, and F1-score of 98.60% showed the effectiveness of the Random Forest algorithm. The authors of the following paper [9] also conducted a study and testing on Android malware. The Android malware [10] was studied for the detection of adware, malware, banking malware, and SMS malware. In addition, the researchers proposed a new feature vector generation method based on Huffman coding. This new method proves the effectiveness of the threat detection model. The proposed model was tested using machine learning and deep learning methods. In the proposed work, the Random Forest algorithm (98.70%) showed the best result in the comparison.

2. Materials and methods

Classifying malware software requires a systematic approach with several essential steps to ensure accuracy and effectiveness. The first step is gathering a relevant dataset, including benign and malicious samples, as this balance is critical for practical model training.

A very efficient dataset was received from the Kaggle open-source platform. It contains 216352 records with 58 features each. However, three columns – 'ID', 'md5', and 'Unnamed: 57' are not informative for the classification task. These columns are, therefore, removed from the dataset.

After the dataset is prepared, other subsequent steps take place. In the data-cleaning phase, the elements with a large number of missing values are removed. The duplicate records are also identified and eliminated. When the dataset elements are cleared, a more important normalization step occurs.

At the normalization step, the Standard Scaler method is utilized. This method converts data to a standard normal distribution with a mean of 0 and a standard deviation of 1. It is especially appropriate when the data is distributed close to normal or when it is essential to eliminate the influence of feature scale. For each x value, the following calculations take place in the dataset:

- an average value of the feature μ and a standard scaler σ are computed;
- every x value is normalized by the following formula (1):

$$x_{scaled} = \frac{x - \mu}{\sigma}, \quad (1)$$

where x_{scaled} is a normalized value; μ is an average feature value;

The standard scaler technique removes differences in feature scales, which is important for scale-sensitive algorithms. It also makes data centered and standardized, improving algorithms' convergence using gradient descent.

The feature selection process is realized with the use of the Chi-square feature selection technique. This method is a commonly used statistical method for selecting features in machine learning and data preprocessing, especially in classification tasks. The Chi-square test χ^2 measures the difference between the observed frequency and the expected frequency of feature values relative to the target class distribution, helping to determine the degree of independence between features and the target variable.

In the first step, all features and the target variables are encoded in a numerical format. It is necessary because the Chi-square metric evaluates frequency counts within each data category. For each feature, the Chi-square statistic is calculated by comparing the observed frequency counts with the expected counts under the assumption of independence between the feature and the target variable.

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}, \quad (2)$$

where O_i is the observed frequency, and E_i is the expected frequency.

The vectorized data is checked for balancing. If the dataset is imbalanced, the special balancing technique called the Synthetic minority oversampling technique (SMOTE) is applied to the dataset to make classes equal. **SMOTE** is a popular method for balancing class distributions in datasets where one class (typically the minority class) has fewer samples than the others. This imbalance can lead to biased models that perform poorly on the minority class because many machine learning algorithms assume an even distribution between classes. SMOTE addresses this by generating synthetic samples of the minority class rather than simply duplicating existing ones, which can help the model learn better representations for the underrepresented class. For each minority sample, SMOTE finds its *k-nearest* neighbors within the minority class (typically k=5). A random neighbor is chosen from these *k-neighbors*, and a new synthetic sample is created by interpolating between the original minority sample and the chosen neighbor. This interpolation is done by taking a weighted average of the feature values between the original sample and the neighbor, effectively creating a new sample between them in feature space. The formula for generating a synthetic sample is presented as (3):

$$x_{new} = x_{original} + \partial \square (x_{neighbor} - x_{original}), \quad (3)$$

where ∂ is a random number between 0 and 1, and x_{new} is a newly generated synthetic sample.

When the classes are balanced, the dataset is classified with machine learning models. There are several such models, among which the most popular are Naïve Bayes, Support Vector Machine, and Adaptive Boosting.

The Naive Bayes classifier is a probabilistic machine learning model based on Bayes' theorem. It is used for classification tasks, especially when dealing with large datasets and high-

dimensional features. The “naive” part of Naive Bayes comes from its assumption that features are conditionally independent of each other given the class label. It is often an oversimplification but tends to work well in practice for many classification tasks. The Bayes classifier is calculated as (4):

$$P(C \mid X) = \frac{P(X \mid C) \cdot P(C)}{P(X)}, \tag{4}$$

A Support Vector Machine (SVM) is a powerful supervised learning algorithm used for classification and regression tasks. SVM works by finding an optimal hyperplane that separates data points of different classes with the largest possible margin. This margin maximization helps SVM generalize unseen data well, making it effective for classification tasks.

The hyperplane equation is written as follows (5):

$$y_i(w \times x + b) \geq 0, \tag{5}$$

where $x = (x_1, x_2, ..., x_n)$ is the feature vector; $w = (w_1, w_2, ..., w_n)$ is the weight vector; y_i is an output value; b is a shift.

AdaBoost is an ensemble machine learning algorithm that combines multiple weak classifiers to create a stronger classifier. AdaBoost works well with various classification tasks, particularly those with structured data, and can be paired with many base classifiers. AdaBoost assigns higher weights to misclassified samples, making them more influential in training the next classifier. Correctly classified samples receive lower weights. This adaptive focus on difficult samples helps AdaBoost to improve classification accuracy iteratively.

3. Experimental results

Malware classification experiments were tested on the corresponding dataset. First of all, the dataset was cleaned and preprocessed. Three unmeaning features were eliminated, while the remaining 55 features were normalized with the Min-Max scaling technique. The feature selection algorithm was applied to the normalized dataset, retrieving the 20 most significant ones. Naïve Bayes, SVM, and AdaBoost machine learning algorithms were applied to the dataset to implement the classification task. The results were evaluated with the use of 4 measures: Accuracy, Precision, Recall, and F1-score, calculated as (6-9):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{Total_number}, \tag{6}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP}, \tag{7}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN}, \tag{8}$$

$$F1\text{-}\ score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}, \tag{9}$$

The results of classifying the Malware dataset with machine learning models were evaluated with the described metrics, the histograms, and the Area Under the ROC curve. The AUC-ROC value is in the range of 0 to 1.0. A value of 1.0 means an ideal classifier; a value of 0.5 describes random guessing, and a value less than 0.5 identifies a problematic case. The values of classification metrics are shown in Table 1, and the histograms and AUC-ROC curves are shown in Figure 1.

Table 1. The values of Malware classification

Metrics	**Naïve Bayes**	**SVM**	**AdaBoost**
Accuracy	0.79	0.95	0.96
Precision	0.79	0.96	0.96
Recall	0.79	0.94	0.96
F1-score	0.79	0.95	0.96

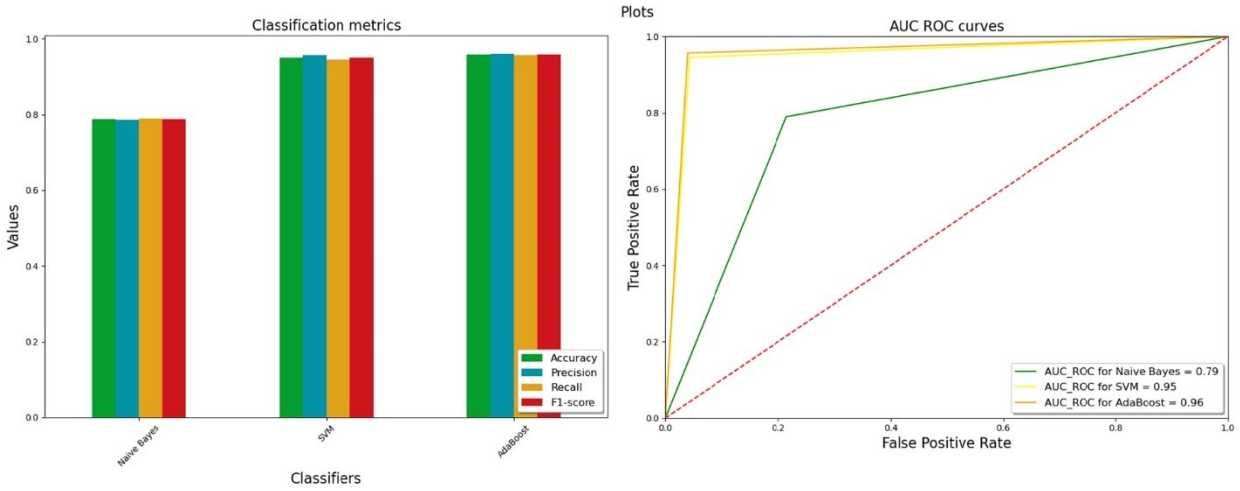


Figure 1. Histograms and an AUC-ROC curve

Three machine learning models showed themselves to be efficient in detecting Malware threats. Being the simplest algorithm, Naïve Bayes got the lowest score of 0.79, while the stronger SVM and AdaBoost reached 0.95 and 0.96, respectively. AdaBoost leads with an accuracy of 0.96, reflecting its effectiveness in balancing misclassification errors and providing robust overall performance. Both AdaBoost and SVM reached a precision score of 0.96, which signifies their ability to correctly identify positive cases with high reliability, a critical advantage in tasks where false positives carry significant implications. Regarding recall, AdaBoost again lusters with a score of 0.96, matching its high precision and demonstrating its capability to identify true positive cases consistently. The F1-score, which balances precision and recall, is also high for both models, with SVM achieving 0.95 and AdaBoost at 0.96, indicating that these models provide well-rounded performance with minimal trade-offs. Generally, this comparative analysis highlights AdaBoost's advantage in achieving high classification effectiveness, while SVM also shows strength in delivering consistent precision and recall, making both models valuable for accurate and efficient classification tasks.

4. Conclusion

The rapid advancement of computer technologies has significantly increased the prevalence of cyber threats, which are evolving in sophistication and pose serious risks to the security and confidentiality of information systems. Malware, one of the most dangerous threats, exists in various forms, such as viruses, worms, trojans, and spyware that can quickly spread throughout digital environments, jeopardizing data integrity and user privacy. As these threats become more diverse and complex, effective detection and prevention methods have become essential over the past decade. Traditional cybersecurity measures, such as signature-based detection, are now less effective, as evolving malware can easily bypass them. This shift has led to a growing reliance on advanced techniques, with machine learning proving to be an effective approach to classification tasks.

This research utilized three machine learning algorithms, Naïve Bayes, Support Vector Machine (SVM), and AdaBoost, to detect malware threats. Among them, Naïve Bayes, the simplest model, achieved the lowest score of 0.79, while the stronger SVM and AdaBoost models performed significantly better, achieving accuracy scores of 0.95 and 0.96, respectively. AdaBoost led with an accuracy of 0.96, underscoring its strength in balancing misclassification errors and providing robust overall performance in identifying malware. Both AdaBoost and SVM achieved a high precision score of 0.96, indicating their reliability in correctly identifying positive cases—a crucial factor in reducing false positives in cybersecurity contexts. AdaBoost also excelled in recall, matching its high precision with a score of 0.96, reflecting its consistency in accurately detecting true positive cases. The F1-score, which balances precision and recall, was also high for both models, with SVM achieving 0.95 and AdaBoost 0.96. This consistency suggests that these models deliver well-rounded performance with minimal trade-offs.

Overall, this analysis highlights AdaBoost's advantage in achieving high classification effectiveness, while SVM also demonstrates reliable precision and recall, making both models valuable for accurate and efficient malware classification. Future research will expand on these findings by experimenting with additional types of cyber threats, such as phishing and ransomware, to develop a comprehensive machine learning-based cybersecurity framework capable of adapting to a wide range of digital threats.

REFERENCES

1. Brown A., Gupta M., Abdelsalam M. Automated machine learning for deep learning based malware detection //Computers & Security. – 2024. – Т. 137. – С. 103582.
2. Keyogeg B. et al. Automated detection of ransomware in windows active directory domain services using log analysis and machine learning //Authorea Preprints. – 2024.
3. Alraizza A., Algarni A. Ransomware detection using machine learning: A survey //Big Data and Cognitive Computing. – 2023. – Т. 7. – №. 3. – С. 143.
4. Haque M. A. et al. Achieving organizational effectiveness through machine learning based approaches for malware analysis and detection //Data and Metadata. – 2023. – Т. 2. – С. 139-139.
5. Kamboj A. et al. Detection of malware in downloaded files using various machine learning models //Egyptian Informatics Journal. – 2023. – Т. 24. – №. 1. – С. 81-94.
6. Khan B., Arshad M., Khan S. S. Comparative analysis of machine learning models for PDF malware detection: Evaluating different training and testing criteria //Journal of Cybersecurity. – 2023. – Т. 5. – С. 1-11.
7. Odat E., Yaseen Q. M. A novel machine learning approach for android malware detection based on the co-existence of features //IEEE Access. – 2023. – Т. 11. – С. 15471-15484.

8. A. El Attaoui, N. El Hami, Y. Koulou. Android malware detection using the random forest algorithm. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. Vol. 36, No. 3, December 2024, pp. 1876~1883.
9. Manzil H. H. R., Manohar Naik S. Android malware category detection using a novel feature vector-based machine learning model //Cybersecurity. – 2023. – Т. 6. – №. 1. – С. 6.
10. Shelke, M.V., Deshmukh, J.Y., Ajalkar, D.A., & Dhumal, R.B. A Robust Ensemble Learning Approach for Malware Detection and Classification // Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology. –2024. – Т. 48. – № 1. – С. 152–167.

Aidana Zhumabekova – Master, Institute of Information and Computational Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, email: zhumabekova2702@gmail.com;

Vladislav Karyukin Карюкин В.И. – PhD, Institute of Information and Computational Technologies, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, email: vladislav.karyukin@gmail.com;

Olga Ussatova – PhD, Associate Professor, Institute of Information and Computational Technologies, G.Daukeev Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan, email: uoa_olga@mail.ru;

Kuanysh Zhumabekova, Almaty Academy of the Ministry of Internal Affairs named M. Esbulatov, Almaty, Kazakhstan, email: kz_kuanysh93@mail.ru;

Nikita Ussatov, Institute of Information and Computational Technologies, Turan University, Almaty, Kazakhstan
usatov.nikita2242@gmail.com

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ …….. 3
Приветственное слово участникам конференции 7

СЕКЦИЯ 1

Ali Farajzadeh, Elman Hazar
ON FIXED POINT THEOREMS FOR GENERALIZED CONTRACTIONS 10
Азимова А.А., Торобеков Б.Т., Жамгырчиева Г.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВУЗОВ ……. 15
В. Вуйцык, Б.Х. Айтчанов, А.С. Тергеусизова
ЧАСТОТНО – ИМПУЛЬСНОЕ УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА ВЫТЯЖКИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА 26
A. Anafina, A. Tengayeva
SOLUTION OF ONE-DIMENSIONAL EQUATION OF HEAT CONDUCTION IN MATLAB ……... 34
Gulay Kenenbaeva, Elaman Kenenbaev
CONVERTING FUNCTIONAL RELATIONS TO LOCAL EQUATIONS …….. 41
К. Искаков, С. Боранбаев
АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ДИСКРЕТНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ НА ДАННЫХ GPR 48
А.С. Родионов
СЛУЧАЙНЫЕ ГИПЕРГРАФЫ В АНАЛИЗЕ НЕНАДЁЖНЫХ СЕТЕЙ 55
Дж.О. Усенканов, Н.М. Бакирова
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ РАСПЛАВА СВАРОЧНОЙ ВАННЫ С УЧЕТОМ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ КОНВЕКЦИИ 64
С.В. Мальцева, П.В. Голубцов
МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СЕТЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМАХ 70
А.А. Татин
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ GPR СЕРИИ «ОКО-2» 73
А.А. Ташев, А.К. Кудайкулов, М.Т. Аршидинова, К.Б. Бегалиева
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕРЖНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ, КОГДА НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТЕРЖНЯ С ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНОЙ И ПЕРЕМЕННЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ ИЗОЛИРОВАНЫ ОТ ТЕПЛА 78
Д. Рахимова, А. Сарсенбаева
ЗАҢНАМА САЛАСЫНА БАЙЛАНЫСТЫ СҰРАҚ-ЖАУАП ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ ЗАМАНАУИ ЖАҒДАЙДЫ ЗЕРТТЕУ 85
В.А. Шевцов, А.А. Исмаилова, Ж.Т. Бельдеубаева
АНАЛИЗ СЫРЫХ ДАННЫХ СЕКВЕНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПАТОГЕНОВ 93
К. Момынжанова
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ГЛАЗНОГО ДНА С ГЛУБОКИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ ЗРИТЕЛЬНОГО ДИСКА И ЗРИТЕЛЬНОЙ ЧАШИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ГЛАУКОМЫ 97
Д.М. Бешеев
ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ РАДИОЛОКАЦИИ 105
Sotvoldiyeva Dildora, Karimov Sardor, Mamadaliyev Nurillo
SENTIMENT ANALYSIS WITH NLP: CONCEPTS AND MATHEMATICAL FOUNDATIONS ……... 112
К.М. Баймиров, Е.Қ. Мергенғали, М.А. Ахметжанов
ОБЗОР СИСТЕМ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ …….. 116
Тусупова К.Б., Мирзахмедова Г.А.
ЭКОНОМИКА САЛАЛАРЫНЫҢ АРАСЫНДА ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ЕҢБЕК РЕСУРТАРЫН ТИІМДІ ҮЛЕСТІРУДІ ЖОСПАРЛАУДЫҢ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІ 119
Кутунаев Ж.Н., Кадыркулова Н.К.
СОЗДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРАЛЬНО-КРАЕВЫХ УСЛОВИЙ 124

СЕКЦИЯ 2

К.М. Сагиндыков, А.Т. Кусаинова
ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ГЕОРАДАРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ В КАЗАХСТАНЕ 132

Н. Тасболатұлы, К. Алимхан, Г.Б. Бахадирова
УАҚЫТ КІДІРІСІ БАР ЖОҒАРЫ РЕТТІ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕРДІ БАҚЫЛАУ ҮШІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ ……..…… 137

Т.Р. Ишмурзин, Б.С. Амирханов, М.Ж. Сакыпбекова, Г.А.Тюлепбердинова
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IIOT ТЕХНОЛОГИЙ …….. 143

Г.И. Жолдангарова
СОЗДАНИЯ ТЕПЛОВОГО НАСОСА НА БАЗЕ ARDUINO..... 149

Т.Н. Нұрғазы, Г.А. Амирханова, Д.Т. Карымсакова
BLENDER-ДІҢ КӨМЕГІМЕН ӨНДІРІСТІК ЖАБДЫҚТАРДЫҢ ЖӘНЕ ИНФРАҚҰРЫЛЫМНЫҢ 3D МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ 156

А.Т. Жақсымбет, Г.З. Зиятбекова, А.Т. Мазакова, А.Д. Бургегулов, Т.С. Шорманов
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДОЕМАХ..... 162

Т. Мерембаев, О.А. Ауелбеков, А.Х. Қозбақова, К.У. Есентаев, Қ.Ж. Игібаев
ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ С НАЧАЛЬНЫМИ И КРАЕВЫМИ УСЛОВИЯМИ ДИФФУЗИОННОГО ПРОЦЕССА 166

Karimov Sardor, Мамадалиев Нурилло, Сотволдиева Дилдора
DEEP NEURAL NETWORK FOR SEMANTIC SEGMENTATION OF SATELLITE IMAGES ……... 174

Kalizhanova A.U., Kozbakova A.Kh., Imanbekova U.N., Imanbekova A.N., Aitkulov Zh.
APPLICATION OF THE MACHINE LEARNING METHOD IN PROCESS CONTROL ……. 181

Khasanboy Kodirov, Temurbek Abdullaev
THE IMPLEMENTATION OF SUGGESTOPEDIA METHOD IN THE TEACHING AND LEARNING PROCESS FUTURE SPECIALISTS IN THE BRANCH OF INFORMATION COMMUNICATION TECHNOLOGY G.LOZANOV 187

Yousupahunov J., Abramkina O., Zhumanov Y.
A NEW APPROACH TO DEPLOYING IP TELEPHONY SYSTEMS USING DEVOPS METHODS …... 192

А.Ж. Алимханова, С.В. Григорьева, А.Б. Болатова
ИССЛЕДОВАНИЕ МОДУЛЯЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ С ПРЯМЫМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ В БЕСПРОВОДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ …….. 200

С.В. Вязигин
МУЛЬТИКОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ: ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ, ВЫЗОВЫ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ 207

А.Ж. Алимханова, С.В. Григорьева, Е.Е. Кожанжаров
ПЛАТФОРМА ДЛЯ СИМУЛЯЦИИ ПОМЕХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕТЯХ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ 213

Т.Н. Асаубаев, А.У. Калижанова
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С НАКЛОННОЙ РЕШЕТКОЙ БРЭГГА 219

А.С. Батыкова
КОЛЛЕДЖ СТУДЕНТТЕРІНЕ ИНФОРМАТИКАНЫҢ АРНАЙЫ КУРСТАРЫН ОҚЫТУДЫҢ ӘДІСТЕМЕЛІК ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ 226

А.М. Курмангалиева
ЖОҒАРЫ СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫН PYTHON ТІЛІНДЕ ОЙЫН ҚҰРУҒА ҮЙРЕТУ ӘДІСТЕРІ 233

Л.Б. Абдижалилова, Н.Қ. Куандықов, М.К. Ибраим, Т.С. Дуйсебаев, А.А. Скабылов
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ АММИАКА В ВОЗДУХЕ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO 238

С.А. Байелі
ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕРНЕТ РЕСУРСОВ С ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ОСНОВАМ ИИ 245

D.A. Tursunov
EVOLUTION OF VPN SECURITY: FROM PPTP TO WIREGUARD ……. 251

Ә.Т. Азаматова
ОБУЧЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГРАФИКЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕНЕРАТИВНОГО ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ШКОЛЕ 255
М.Б. Байкувеков, Д.Р. Султан, Ғ.Б. Еспаев, Ә.Р. Шаханов
ЖҮРЕК АУРУЫН ЕРТЕ АНЫҚТАУҒА АРНАЛҒАН ТЕРЕҢ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ 260
Б.Ш. Ералиева, Г.С. Боранкулова, А.Т. Тунгатарова, А.Н. Мурзахметов
ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ӨҢДЕУ НЕГІЗІНДЕГІ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫНДАҒЫ СУ РЕСУРСТАРЫН ТИІМДІ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЗЕРТТЕУ 264
В. Вуйцик, П. Кисала, А.У. Калижанова, А.Х. Козбакова,4, М.М. Кунелбаев
ВЛИЯНИЕ ИЗГИБА ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН НА ИХ СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ .. 269
Махамбетова Ж.Е.
ЖАРАТЫЛЫСТАНУ-МАТЕМАТИКАЛЫҚ БЕЙІНДЕГІ ОҚУШЫЛАР ҮШІН «ЗАТТАР ИНТЕРНЕТІ» ЭЛЕКТИВТІ КУРСЫН ӘДІСТЕМЕЛІК ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ 281
Шалхар Н.Ж.
АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕДЕ УАҚЫТ ҚАТАРЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ҚЫЗМЕТТЕРГЕ СҰРАНЫСТЫ БОЛЖАУ 290
А.Е. АБСЕЛЕМОВ, О.А. УСАТОВА
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ POWER BI ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ 294
С.З. Дәруіш, А.У. Утегенова, М.А. Ворогушина, З.М., Рахимжанова, С.Л. Тихомиров
ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ БИБЛИОТЕКИ ДАННЫХ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПАСПОРТИЗАЦИИ РАЙОНОВ ПАДЕНИЯ ЧАСТЕЙ РАКЕТ 299

СЕКЦИЯ 3

М.Е. Мансурова, Т.С. Сарсембаева, Г.А. Тюлепбердинова А.М. Мауленова
СТУДЕНТТЕРДІҢ ӨМІР СҮРУ САПАСЫН БАҒАЛАУ: ӘСЕР ЕТЕТІН НЕГІЗГІ ФАКТОРЛАРДЫ ТАЛДАУ 305
Mukhammadyunus Norinov
OPTIMIZATION OF IMAGE CODING USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE 313
Самигулина Г.А.,Самигулина З.И.
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ НА ОСНОВЕ НЕЙРОЭНДОКРИННО-ИММУНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА 318
Durbek Khalilov
NEURAL NETWORK, GRADIENT DESCENT AND METHODS OF SELECTION OF WEIGHT COEFFICIENTS 324
Шаяхметова А.С., Ахметова А.М., Абдилдаева А.А., Литвиненко Г.Г., Бисаринова А.Т.
БАЙЕСОВСКИЕ СЕТИ В СРЕДЕ R 333
Тошматов Шерзод, Авезова Нилуфар, Мамадалиев Нурилло
УМНЫЙ ДОРОЖНЫЙ ЗНАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ 338
A. Saurambayeva, Y. Bapiyeva, Z. Arapova
ENHANCING LIVESTOCK MANAGEMENT: REAL-TIME OBJECT BEHAVIOR MONITORING USING COMPUTER ISION..... 343
Анарбекова Г.А., Аканова А.С., Шарипова С.Е.
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В БОРЬБЕ С ВРЕДИТЕЛЯМИ..... 349
Yeslyamova Gozel, Bugatayev Samat, Yessibekov Zinel, Tussupov Akhmet
DEVELOPMENT OF BIG DATA MODEL WITH IOT APPLICATION..... 354
Шарипова С.Е., Аканова А.С., Анарбекова Г.А.
КРОСС-ВАЛИДАЦИЯНЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЗИЯНКЕСТЕР САНЫНЫҢ ДИНАМИКАСЫН БОЛЖАУ ҮШІН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІНІ ДАМЫТУ 362
Ш.Е. Ахметжанова, Ж.О. Оралбекова, А.Д. Абдувалова, Т.К. Ешманова, Г.Ж. Баймырзаева, А. Шымырбек
ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ВЫВОЗА И УТИЛИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ОТХОДОВ В ЖАМБЫЛСКОМ РЕГИОНЕ 368
М.Е. Мансурова, Ә.Ғ. Оспан, А.М. Мауленова, Б.П. Базарбек
БІЛІМ БЕРУ ҮДЕРІСІНДЕ КОНЦЕПТУАЛДЫҚ ТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ: ОҚЫТУ МЕН ЗЕРТТЕУДІҢ ЖАҢА КӨКЖИЕКТЕРІ 374
А.Қ. Гилымов, А. Асет

ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕСІНІҢ КӨМЕГІМЕН АҚЫЛДЫ ШАҢ СОРҒЫШТЫ БАСҚАРУ 381
А. Сламғазы, Г.А. Тюлепбердинова, М.М. Кунелбаев, Г.А. Амирханова
МЕДИЦИНАЛЫҚ-БИОЛОГИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ 388
Б.Х. Аллажар, Н. Тасболатұлы
УНИВЕРСИТЕТ ОҚЫТУШЫЛАРЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ БЕЛСЕНДІЛІГІН БАҚЫЛАУ БОЙЫНША ИНТЕГРАЦИЯЛАНҒАН ЖҮЙЕНІ МОДЕЛЬДЕУ 395
Л.С. Дуйсембаева, А.А. Орманбекова
ЖЕМІС-КӨКӨНІС ӨНІМДЕРІНІҢ САПАСЫН БАҚЫЛАУДЫҢ БАҒДАРЛАМАЛАНАТЫН ЛОГИКАЛЫҚ КОНТРОЛЛЕР БАЗАСЫ НЕГІЗІНДЕ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ 403
А.А. Асланов, А. Асет, С.К. Кошкинбаев
САУДА КЕШЕНІНЕ АРНАЛҒАН КӨП ҚАБАТТЫ КӨЛІК ТҰРАҒЫН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ 410
Т.С. Сарсембаева, М.Е. Мансурова, Н.С. Есенгалиева, А.К. Кошанова
ӨКПЕНІҢ СОЗЫЛМАЛЫ ОБСТРУКТИВТІ АУРУЫ БЕЛГІЛЕРІНІҢ МАШИНАЛЫҚ ДИАГНОСТИКАСЫ ҮШІН ӨКПЕНІҢ КТ КЕСКІНІН ӨҢДЕУ ЖҮЙЕСІН ЖАСАУ 415
А.Н. Кулмагамбетов, Н. Тасболатұлы
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРУДОУСТРОЙСТВА ВЫПУСКНИКОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 426
Ф.С. Телгожаева, Г.А. Тюлепбердинова, М.М. Кунелбаев
ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ КӨМЕГІМЕН ЖЫЛЫТУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЖҰМЫСЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ 432
Koishiyeva D.E., Baimuldina N.S, Tussupova B.B.
QUANTITATIVE ANALYSIS OF MEDICAL IMAGE AUGMENTATION TECHNIQUES USING DEEP NEURAL NETWORK FOCUS ON SEGMENTATION AND QUALITY EVALUATION …….. 437
Шайхиева Ж., Мансурова М., Амирханова Г., Оспан А.
КЛАСТЕРИЗАЦИЯ КОММЕНТАРИЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОЛЬШОЙ ЯЗЫКОВОЙ МОДЕЛИ В ФИНАНСОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ……. 444
Suleimenova M.U, Mukhammedzhanova D.M, Amanova R.T.
A SCIENTIFIC APPROACH TO UTILIZING ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR THE DIAGNOSIS AND PREDICTION OF EARLY AGING ……... 451
А.А. Абдилдаева, Г.Б. Нуртуган
СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ОБУЧЕННЫХ НА РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ДАННЫХ, СГЕНЕРИРОВАННЫХ С ПОМОЩЬЮ GAN, ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЦЕН НА БИРЖЕ …….. 455
A.M. Zhunussova, M.Zh. Sakypbekova
DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF COMPUTER VISION METHODS: AUTOMATED CONTROL AND MANAGEMENT OF AGRICULTURAL CROPS UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS …….. 462
Д.С.Жайсанова, А.М.Байдулла
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ КОНСУЛЬТАНТОВ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВ МОДЕЛЕЙ (LLM) ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ …….. 465
Б.Т. Иманбек, З.С. Ибрашева, Ж.Е. Байгараева, А.К. Болтабоева, A.G. Jemal
ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ТАЗА БӨЛМЕЛЕРДЕГІ АУА САПАСЫН БАҚЫЛАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ҮШІН ИНТЕРНЕТТІ МЕДИЦИНАЛЫҚ ЗАТТАРДЫ ЖӘНЕ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫ БІРІКТІРУ 468
А.Т. Искакова, Г.Е. Курманкулова
ӨНДІРІСТІК ПРОЦЕСТЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ҚОЛДАНАТЫН ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕРІ 476
А.А. Қарасаева
КИЛЕТІН ҚҰРЫЛҒЫЛАРДЫҢ ДЕРЕКТЕРІН ТАЛДАУ НЕГІЗІНДЕ СОЗЫЛМАЛЫ АУРУЛАРДЫҢ ӨРШУІН БОЛЖАУ 483
А.М. Ахметова, Н.Д. Абдурахманов
СИНЕРГИЯ СТАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ИНТЕГРАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ВИЗУАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ 488
А.А.Абдилдаева, Ә.Ә.Байгара
АНАЛИЗ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ 496

Б.А. Бельгибаев, Н.Б. Жұмахан, Р. Аманова
АЗЫҚ ТҮЛІК ЖӘНЕ АГРАРЛЫҚ СЕКТОРЫ КӘСІПОРЫНДАРЫ ҮШІН FPV МАМАНДАНДЫРЫЛҒАН РОБОТТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ 500
М.Е. Мансурова, Д.С. Жайсанова, Д.С. Жылысова
ӘЛЕУМЕТТІК ҒЫЛЫМДАРДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ТРАНСФОРМАЦИЯ: ҮЛКЕН ТІЛДІК МОДЕЛЬДЕРДІ ПАЙДАЛАНУДЫҢ МАҢЫЗЫ 506
Г.Б. Кашаганова, Е.С. Ильясов
ӨНДІРІС ҚАУІПСІЗДІГІН БАСҚАРУДЫҢ ИНТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ӨЗЕКТІЛІГІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ 511
Қ. Махамбетов, Б.А. Бельгибаев
ҚАНТ ПЕЧЕНЬЕСІН ПІСІРУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ҮШІН ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕР МЕН MATLAB ОРТАСЫНДА КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУДІ ҚОЛДАНУ 517
Б.К. Мырзабек, М.Ж. Сакыпбекова
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНТЕКСТНОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ LLM ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КЛИЕНТОВ 522
Н. Оган, Д.Н. Исабаева
ОҚЫТУДЫҢ ИНТТЕЛЛЕКТУАЛДЫ ЖҮЙЕЛЕРІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ: ОҚУ ҮДЕРІСІН БЕЙІМДЕУ ЖӘНЕ АВТОМАТТАНДЫРУ 527
В.Б. Барахнин, Е.П. Мачикина, Р.Р. Мусабаев
РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СТАТЕЙ ВИКИПЕДИИ 532
Е.Н. Амиргалиев, Т.Ж. Мерембаев, П.Т. Омарова
МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ЗАИЛЕНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЕЧНЫХ РУСЕЛ 538
Самбетбаева А.К.
ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ТЕХНОЛОГИЯСЫМЕН ЖОЛДЫҢ ЗАҚЫМДАНУЫН АНЫҚТАУ 547
Д.Р. Рахимова, Ж. Дүйсенбекқызы
МЕКТЕП ЖАСЫНА ДЕЙІНГІ БАЛАЛАРДЫҢ СӨЙЛЕУ КОРПУСЫН ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕ ЖИНАУ ЖӘНЕ АУДИОДЕРЕКТЕРДІ ӨҢДЕУ ТӘСІЛ 554
Жұмабаева А.Қ. Иманбек Б.Т.
ОРГАНИКАЛЫҚ КАЛДЫҚТАРДЫҢ АНАЭРОБТЫ БІРЛЕСКЕН ЫДЫРАУЫНДАҒЫ БИОГАЗ ПОТЕНЦИАЛЫН ОҢТАЙЛАНДЫРУ ҮШІН МАШИНКАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН RESPONSE SURFACE ӘДІСТЕМЕСІНЕ КЕШЕНДІ ТӘСІЛ 562
Mukhammejanova D., Suleimenova M.U.
REMOTE MONITORING OF PATIENT CONDITIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE …….. 568
R.T.Amanova, B.A. Belgibayev, M.E. Mansurova, N.B. Zhumakhan, M.U. Suleimenova
NEUROCOMPUTER VISION IN A RASPBERRY CONTROLLER APPLICATION FOR FPV ROBOT CONTROL …… 573
B.B. Bukhatov, A. Fremd, M. Nurtas
DETECTION OF MINERAL DEPOSITS USING SEISMIC DATA WITH CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS ……. 579
А. Кәрібаева, Б. Абдуали, Д. Әмірова
АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАТНОГО ПЕРЕВОДА В АНГЛО-КАЗАХСКОМ НЕЙРОННОМ МАШИННОМ ПЕРЕВОДЕ …… 585
A. Kalykulova, B. Kairatuly, K. Rakhymbek, A. Kyzyrkanov, A. Nugumanova
EVALUATION OF IBM'S PROPOSED TERM EXTRACTION APPROACH ON THE ACTER CORPUS 591

СЕКЦИЯ 4

Дюсенбаев Д.С.
СИММЕТРИЯЛЫ БЛОКТЫҚ КРИПТОАЛГОРИТМДЕР ҚҰРУ КОНЦЕПЦИЯСЫ 600
А.Б. Батыргалиев, О.А. Лизунов
ИССЛЕДОВАНИЕ НЕДЕКЛАРИРОВАННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ, РЕАЛИЗОВАННЫХ НА АППАРАТНОМ УРОВНЕ И СПОСОБЫ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ 609
Shukhratjon Umarov, Temurbek Abdullaev, Nurillo Mamadaliyev, Bekzod Umarov, Ulmasbek Karimov
NEW ASYMMETRIC ALGORITHMS ON THE ELLPTIC CURVE 616
О.А. Усатова, Ш.Н. Макиленов, Е.Е. Бегимбаева, Я.С. Цой
КОНЦЕПЦИИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАССИВНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ

МЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ …… 624
С.Е. Нысанбаева, Қ.С. Сақан
ХЕШ НЕГІЗІНДЕГІ ПОСТКВАНТТЫҚ ҚОЛ ҚОЮ СХЕМАСЫН ЖАСАУ ЖӘНЕ ОНЫ ЗЕРТТЕУ 629

Хомпыш А., Алгазы К., Сақан Қ.
ЖАЛҒАН КЕЗДЕЙСОҚ ТІЗБЕКТЕР ГЕНЕРАТОРЫНЫҢ СТАТИСТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІН Д.КНУТ СЫНАҚТАРЫ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ 640
Rakymbekov B.B., Turysbayev A.E., Ziyatbekova G.Z.
Zero-Trust Architecture for Strengthening Internal Security in Corporate IT Environments …….. 648
K.T. Алгазы
КРИПТОАНАЛИЗ АЛГОРИТМА ШИФРОВАНИЯ LBC …….. 653
С.А.Адилжанова, А.Е. Рахыш, Т.Ш. Миркасымова
МЕМЛЕКЕТТІК ИНФРАҚҰРЫЛЫМДАҒЫ ҚАУІПТЕРДІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ АРҚЫЛЫ НАҚТЫ УАҚЫТ РЕЖИМІНДЕ АНЫҚТАУ 659
Samuilova A.M., Nursapa S.T.
NEURO-FUZZY MODELS IN CYBERSECURITY RISK ASSESSMENT: ANALYZING THEMATIC INTERNET RESOURCES 664
Гордиенко А.Н., Конырханова А.А., Тебуева Ф.Б., Боранбай Ж.А.
МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ АТАК НА СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВХОДНЫХ ДАННЫХ И РЕАКЦИИ МОДЕЛИ …… 671
Д.Р. Ашимжанова, Г.З. Зиятбекова, Н.М. Серикбаев
СОЗДАНИЕ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В КОРПОРАТИВНОЙ СРЕДЕ ……... 679
Белоносов А. О.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕСТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА УЯЗВИМОСТЬ К АТАКАМ ……..… 685
Ж.Н. Мырзақұл
ДЕРЕКТЕРДІ ҚАУІПСІЗ ӨҢДЕУГЕ АРНАЛҒАН ГОМОМОРФТЫ ОПЕРАЦИЯЛАРДЫ ҚОЛДАЙТЫН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ELGAMAL КРИПТОЖҮЙЕСІ ……... 690
Андреев И.А., Тебуева Ф.Б., Абдураимова Б.К., Боранбай Ж.А., Сатыбалдина Д.Ж.
ПРОТОКОЛ АУТЕНТИФИКАЦИИ ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИКСИРОВАННЫХ БИТОВ В СИСТЕМАХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ……... 700
Р.Е. Сағдатова, Г.З. Зиятбекова
КИБЕРҚАУІПТЕРДІ БОЛЖАУДА ДИНАМИКАЛЫҚ БАЙЕС ЖЕЛІЛЕРІН ҚОЛДАНУ ……. 710
Носиков Д.Э, Огур М.Г, Абдураимова Б.К, Тебуева Ф.Б, Сатыбалдина Д.Ж.
МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ МНОГОВЕКТОРНЫХ АТАК НА УСТРОЙСТВА ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ 716
Тюлемисова Д.Б,, Шайханова А.К., Марценюк В.П.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ SIR ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФЕЙКОВЫХ НОВОСТЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ …….. 724
Именалинова А.Т.
БЕЗОПАСТНОСТЬ В IOT СИСТЕМАХ 736
Bakyt M.A., Moldamurat Kh., Atanov S.K., Anuar G.A., Sapabekov A.E.
HIGH-SPEED DATA ENCRYPTION FOR LOW-ORBIT AIRCRAFT …… 740
Salikzhanova Z.T., Amanzholova S.T., Askarbekova N.Y., Turgunova A.Y.
DEVELOPMENT OF AN APPLIED DATABASE OF NORMATIVE LEGAL ACTS NATIONAL AND INTERNATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY AND INFORMATION PROTECTION ……. 748
M.A. Duisenova, A.T. Dossanaliyeva, G.Z. Ziyatbekova
SECURITY AND TRANSPARENCY OF BLOCKCHAIN SYSTEMS IN EDUCATION INSTITUTIONS 754
Khomenko O.A., Nurlybayev T.A., Abramkina O.A.
LEVERAGING MACHINE LEARNING TO ENHANCE ZERO TRUST ARCHITECTURE ……. 761
Salikzhanova Z.T., Amanzholova S.T., Askarbekova N.Y., Turgunova A.Y.
DEVELOPMENT OF AN APPLIED DATABASE OF NORMATIVE LEGAL ACTS NATIONAL AND INTERNATIONAL STANDARDS IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY AND INFORMATION PROTECTION ……. 766
Sagadat N.B., Tashatov N.N., Abdul Razaque
NOVEL TECHNIQUES FOR BYPASSING ANTI-DEBUGGING MECHANISMS IN ADVANCED PERSISTENT THREATS …… 772

М.А. Болатбек, М. Сағынай, Ш.Ж. Мусиралиева
ВЕБ РЕСУРСТАҒЫ ЗИЯНДЫ ВЕБ КОНТЕНТТІ АНЫҚТАУ МӘСЕЛЕСІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ӨЗЕКТІЛІГІ ……. 778
А.Б. Батыргалиев, А.А. Молганов
ЗАЩИТА АППАРАТНОГО ГЕНЕРАТОРА СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ОТ АТАК ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ 783
Сейлова Н.А., Оленников Я.Е.
АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ПО SMS 789
Kuatbay Aruana, Amanzholova S.T., Askarbekova N.Y., Kushkimbayeva D.K.
DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR ANALYZING, DETECTING, AND PROTECTING EXTERNAL THREATS TO CORPORATE RESOURCES ……. 795
Ахметова А.И.
ҚҰЖАТТАРДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ КӨП ФАКТОРЛЫ АУТЕНТИФИКАЦИЯ ЖҮЙЕСІН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ 801
Е.Е. Бегимбаева, Т.М. Жаксалыков, А.А. Ахтанов, Р.С. Пашкевич, О.А. Усатова, М.Т. Аршидинова
РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ПРОТОКОЛА КВАНТОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ СУПЕРПОЗИЦИИ 805
Ш. Абдалы, С.Б. Бейсенова, Н. Капалова
ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ В ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОРОГОВОЙ СХЕМЫ РАЗДЕЛЕНИЯ СЕКРЕТОВ 809
A. Zhumabekova, V. Karyukin , O. Ussatova, K. Zhumabekova, N. Ussatov
THE IMPLEMENTATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR REVEALING MALWARE THREATS ……. 815

МАЗМҰНЫ – СОДЕРЖАНИЕ – CONTENTS 823

МАТЕРИАЛЫ

IX Международной научно-практической конференции

«ИНФОРМАТИКА И ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА»

Под редакцией ***М.Н. Калимолдаева***

Компьютерная верстка ***Г.З. Зиятбекова***

\

Подписано в печать 15.10.2024 г. Формат А4
Печать цифровая. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 51.06
Тираж 500 экз. Заказ № 006606
Отпечатано в типографии ИИВТ КН МНВО РК
г. Алматы, ул. Шевченко, 28

839