

Міністерство освіти і науки України

Системні технології

System technologies

4 (153) 2024

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць

Засновано у січні 1997 року.

У випуску:

- ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА**
- МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ**
- СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ
ТА КІБЕРБЕЗПЕКА**

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4 (153). - Дніпро, 2024. – 193 с.
ISSN 1562-9945 (Print).
ISSN 2707-7977 (Online).

Редакційна колегія випуску:

Алпатов А.П. - д.т.н., проф. (відп. редактор)
Архипов О.Є. - д.т.н., проф.
Білозьоров В.Є. - д.ф.-м.н., проф.
Бабічев С.А. (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.
Єрьомін О.О. - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні
технології та організація
сучасного виробництва

Гече Ф.Е. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гуда А.І. - д.т.н., проф.
Гнатушенко Вік.В. - д.т.н., проф.
Скалозуб В.В. - д.т.н., проф.

Математичне
та програмне забезпечення
інтелектуальних систем

Гнатушенко В.В. - д.т.н., проф., (відп. редактор)
Гожий О.П. - д.т.н., проф.
Кіріченко Л.О. - д.т.н., проф.
Светличний Д.С. (Польща) - д.т.н., проф.
Хандецький В.С. - д.т.н., проф.

Системні технології
обробки інформації
та кібербезпека

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради
Українського державного університету науки і технологій
від 31.01.2024 р., № 6

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4
Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»
кафедра Інформаційних технологій та систем.
Тел. +38(097)6854525
E-mail: st@nmetau.edu.ua
<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
ІБК «Системні технології», 2024

АДАПТИВНИЙ ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ СТАНУ ВУЛИКА ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА АНАЛІЗУ АУДІО

Анотація. У сучасному бджільництві ідентифікація присутності матки в вулику є важливим завданням, що впливає на здоров'я та продуктивність бджолоїної колонії. Розвиток методів машинного навчання, зокрема згорткових нейронних мереж, відкриває нові можливості для автоматизації цього процесу. Ця стаття фокусується на використанні нейронних мереж та способів виділення характеристик аудіоданих MFCCs та STFT для ідентифікації стану відсутності матки у вулику, а також огляд можливостей використання навчених моделей на даних з інших вуликів. Результати дослідження демонструють, що MFCCs є більш універсальним способом обробки даних для цієї мети, порівняно з STFT, який показав позитивні результати на першому наборі даних, але не показав значних результатів на другому. Також, використання навченої моделі з використанням MFCC на обмеженому наборі даних показало кращий результат ніж повне навчання моделі на цих даних.

Ключові слова: нейронні мережі, бджоли, глибоке навчання, аналіз аудіо, tensorflow, згорткові нейронні мережі, mfccs, stft.

Постановка проблеми. Штучний інтелект та машинне навчання відкрили нові можливості для автоматизації та оптимізації багатьох процесів, у різних галузях науки та промисловості. Серед таких областей, апікультура виявилася перспективною для застосування цих технологій, зокрема, для моніторингу бджолоїного вулика. Бджоли є невід'ємною частиною глобальної екосистеми, відіграючи критичну роль в процесі запилення, що сприяє репродукції багатьох видів рослин, включно з великою кількістю тих, які формують основу людського харчування [1]. Їхня важливість для підтримки біорізноманіття та забезпечення продовольчої безпеки робить збереження здоров'я та продуктивності бджільництва важливим завданням для дослідників та бджолярів [2]. Однак, численні фактори, включаючи зміну клімату, застосування пестицидів та хвороби, загрожують стабільності бджільництва, що підкреслює потребу в інноваційних підходах до моніторингу та управління станом бджолиних колоній [3].

Бджолина матка є центральною фігурою в колонії, відповідаючи за виробництво яєць та підтримку соціальної структури. Відсутність матки може призвести до серйозних збурень у житті колонії, знижуючи продуктивність та можливість виживання колонії. Тому своєчасне виявлення відсутності матки має вирішальне значення для ефективного управління бджолиними колоніями. Традиційні методи ідентифікації стану матки зазвичай вимагають регулярного та ретельного візуального огляду вуликів бджолярами, що є часомістким та може бути недостатньо чутливим для раннього виділення ознак проблем.

Важливим аспектом використання нейронних мереж для ідентифікації стану вулика є їх універсальність, тобто можливість використання навченої нейронної мережі на інших вуликах, що можуть містити інший набір мікрофонів та мати відмінності у їх розміщенні.

Аналіз досліджень і публікацій. З розвитком IoT-технологій та нейронних мереж, науковці почали використовувати їх зокрема для моніторингу стану бджолиних вуликів. Існуючі дослідження показали ефективність використання нейронних мереж для ідентифікації станів вирощування розплоду та роїння за допомогою моніторингу температури [4], а також можливості використання технологій комп'ютерного зору та глибоких нейронних мереж для відстеження окремих бджіл [5], виявлення пилконосних та хворих бджіл та шкідників [6,7,8].

Інші численні дослідження показали ефективність використання акустичних сигналів для ідентифікації станів бджолиного вулика [9,10], а також застосування нейронних мереж для їх аналізу, зокрема використання архітектури рекурентної нейронної мережі LSTM для ідентифікації відсутності бджолиної матки у вулику [11].

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є розробка глибокої нейронної мережі для класифікації аудіосигналів для ідентифікації присутності бджолиної матки у вулику, а також аналіз можливостей її використання на іншому вулику.

Матеріали, методи та методики досліджень. У якості джерела даних для дослідження використовувався анотований датасет “To bee or not to bee” [12], що складається з двох наборів аудіоданих з Open Source Beehive (OSBH), та NU-Hive [13]. Дані з цього датасету були розділені на два набори даних в залежності від набору аудіоданих, та були оброблені та приведені до загального вигляду шляхом розподілу на дві категорії: з наявною маткою (queen), та без неї (noqueen), а також розділенням великих аудіофайлів на частини по 4 секунди.

Для подальшого тренування моделей використовувались два методи виділення ознак з аудіоданих: Мел-частотні кепстральні коефіцієнти та віконне перетворення Фур'є.

Віконне перетворення Фур'є (STFT) це основна техніка обробки сигналів, що дає змогу аналізувати частотний та фазовий вміст локалізованих сегментів сигналу в міру його розвитку з часом. На відміну від стандартного перетворення Фур'є, яке забезпечує спектр вибірок повністю у часовій області, STFT обчислює послідовність перетворень Фур'є для коротких інтервалів, що дозволяє детально аналізувати варіації сигналу з часом. Візуалізацію роботи STFT на аудіоданих з обробленого набору даних OSBH наведено на рисунку 1.

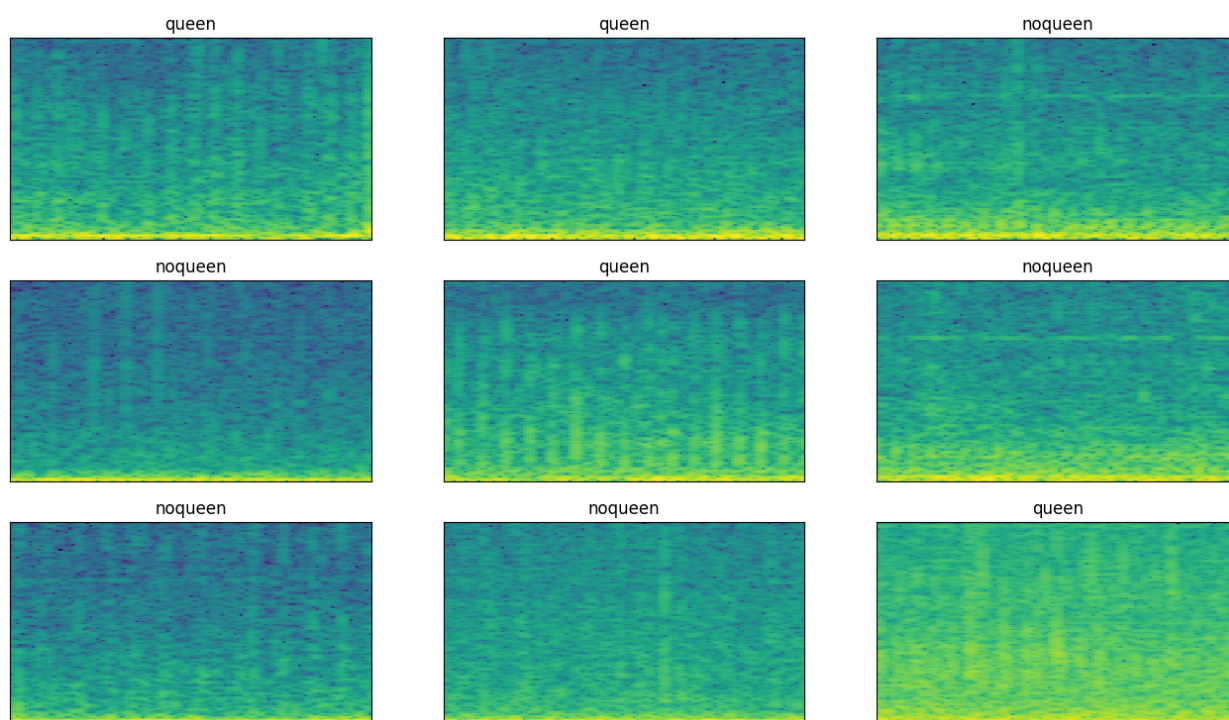


Рисунок 1 - Візуалізація спектрограм STFT

Мел-частотні кепстральні коефіцієнти (MFCCs) – це один з основних способів виділення ознак, що широко використовується в різних сферах, таких як розпізнавання мови, ідентифікація мовця, та розпізнавання емоцій. MFCC охоплюють як високочастотні, так і низькочастотні характеристики роздільної здатності аудіосигналів, що робить їх цінними для розрізнення звуків. Крім того, MFCC менш схильні до впливу шуму навколишнього середовища, що природно зустрічаються в мові, та легко обчислювальні, що робить їх придатними для різних застосувань [14]. Приклад трансформованих у вигляд MFCCs аудіоданих наведено на Рисунку 2.

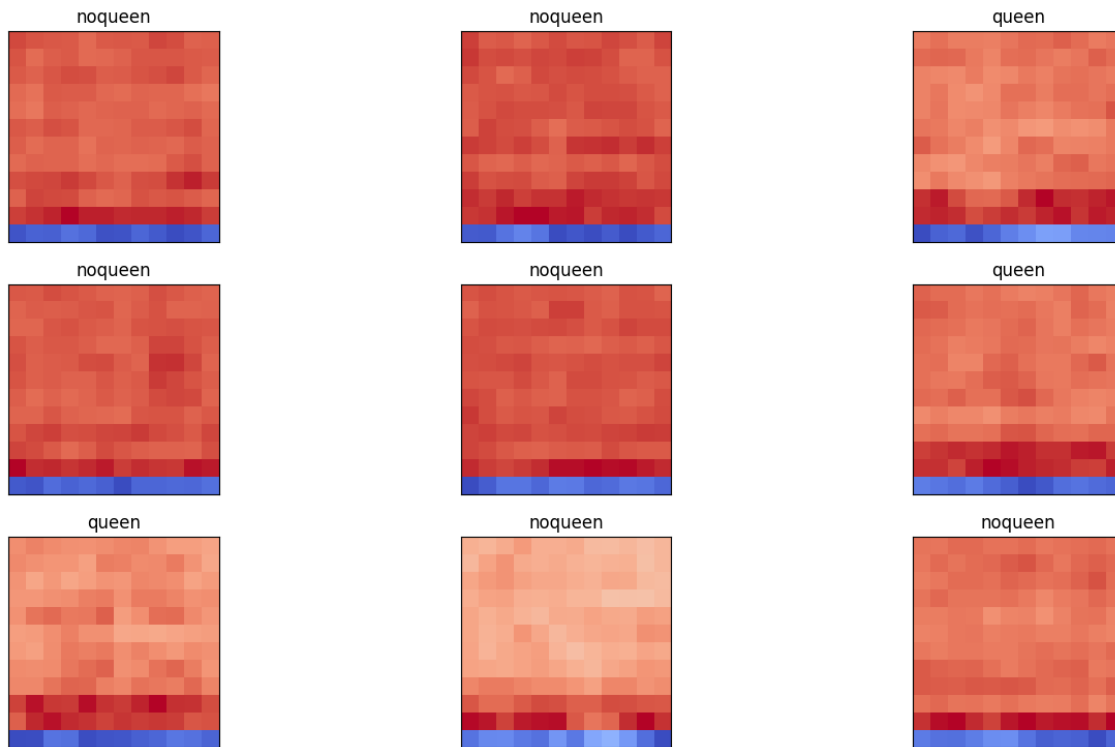


Рисунок 2 - Візуалізація аудіоданих у MFCCs

Для навчання моделей використовувалась однакова архітектура згорткової нейронної мережі, структура якої зображена на Рисунку 3.

Model: "model_1"

Layer (type)	Output Shape	Param #
input_4 (InputLayer)	[(None, 118, 129, 1)]	0
conv2d_6 (Conv2D)	(None, 116, 127, 16)	160
max_pooling2d_4 (MaxPooling2D)	(None, 58, 63, 16)	0
conv2d_7 (Conv2D)	(None, 56, 61, 32)	4640
max_pooling2d_5 (MaxPooling2D)	(None, 28, 30, 32)	0
flatten_3 (Flatten)	(None, 26880)	0
dense_6 (Dense)	(None, 32)	860192
dense_7 (Dense)	(None, 2)	66
Total params: 865058 (3.30 MB)		
Trainable params: 865058 (3.30 MB)		
Non-trainable params: 0 (0.00 Byte)		

Рисунок 3 - Структура згорткової нейронної мережі

Результати досліджень. Після навчання моделей, було виконано порівняння метрик результатів їх навчання та роботи на тестовій вибірці даних (Таблиця 1), що складала 20% від початкового набору даних. Для цього використовувались наступні метрики:

- Функція втрат (loss), що дозволяє виміряти відстані або різницю між прогнозованим виходом моделі та основною істиною навченої моделі.
- Точність, що показує відношення правильних передбачень моделі до загальної кількості вхідних даних.

Таблиця 1

Результати тренування та тесту моделей на наборі даних OSBH

	Loss	Val. Loss	Accuracy	Val. Accuracy
MFCCs	0,30	0,27	0,91	0,90
STFT	0,27	0,22	0,92	0,93

Виходячи з наведених у Таблиці 1 результатів, можна сказати, що обидва методи успішно впоралися з задачею ідентифікації присутності матки у вулику. Використання методу MFCCs дозволило коректно ідентифікувати присутність бджолої матки на 90% тестових аудіозаписів, а STFT показав трохи кращий результат у 93%.

При спробі використання навчених моделей на тестовій вибірці з другого набору даних (NU-Hive), обидві моделі не змогли успішно ідентифікувати присутність матки на більшості аудіозаписів, показавши точність у 39%.

Таблиця 2

Результати тренування та тесту моделей на наборі даних NU-Hive

	Loss	Val. Loss	Accuracy	Val. Accuracy
Моделі NU-Hive				
STFT	0,59	0,52	0,52	0,54
MFCCs	0,59	0,56	0,88	0,96
Донавчені моделі OSBH				
STFT	0,55	0,53	0,63	0,58
MFCCs	0,47	0,46	0,78	0,81

В Таблиці 2 наведено порівняння результатів навчання та тестування моделей, навчених з нуля на другому наборі даних, та дотренованих моделей, що були навчені на наборі даних OSBH. З неї видно, що в обох випадках моделі що базуються на MFCCs показали кращий результат за ті, що були треновані вико-

ристовуючи STFT. Також, навчання моделі з нуля на повному наборі показало кращий результат, ніж донавчання вже існуючих моделей. Однак, у випадку використання 20% від повного набору даних для тренування, отримуємо інші результати, наведені у Таблиці 3, виходячи з яких донавчання моделі на меншому наборі даних може дати кращий результат за повне перенавчання моделі «з нуля».

Таблиця 3

Результати тренування та тесту моделей на обмеженому наборі даних NU-Hive

	Loss	Val. Loss	Accuracy	Val.Accuracy
Моделі NU-Hive				
STFT	0,65	0,71	0,65	0,38
MFCCs	0,69	0,65	0,58	0,56
Донавчені моделі OSBH				
STFT	0,61	0,56	0,62	0,59
MFCCs	0,58	0,60	0,77	0,73

Висновки. За результатами виконаних досліджень встановлено, що хоч використання віконного перетворення Фур'є показало найкращий результат, коли модель була тренувана на першому наборі даних, використання мел-частотних кепстральних коефіцієнтів для тренування моделей дало позитивний результат в обох випадках, що робить цей спосіб виділення характеристик аудіосигналів більш універсальним вибором для задачі ідентифікації присутності бджолої матки. Також, виходячи з результатів тренування на другому наборі даних, застосування навчених моделей з використанням мел-частотних кепстральних коефіцієнтів на обмеженому наборі даних може дати кращий результат за повне перенавчання такої моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kremen C., Williams N. M., Thorp R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. вип. 99, Т. 26. С. 16812–16816.
2. K. J. Boyer та ін. Netting and pan traps fail to identify the pollinator guild of an agricultural crop / *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70518-9> (date of access: 31.03.2024).

3. Beyer N., Kulow J., Dauber J. The contrasting response of cavity-nesting bees, asps and their natural enemies to biodiversity conservation measures. *Insect Conservation and Diversity*. 2023.
4. Kviesis A., Zacepins A. Application of neural networks for honey bee colony state identification. *2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. 2016. С. 413–417.
5. Marstaller J., Tausch F., Stock S. DeepBees - Building and Scaling Convolutional Neuronal Nets For Fast and Large-Scale Visual Monitoring of Bee Hives. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, Seoul, Korea (South), 27–28 жовтня 2019. 2019.
6. Sledevic T. The Application of Convolutional Neural Network for Pollen Bearing Bee Classification. *2018 IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, Vilnius, 8–10 лис. 2018 р.. 2018.
7. NeuralBee - A Beehive Health Monitoring System / Y. Mahajan et al. *2023 International Conference on Communication System, Computing and IT Applications (CSCITA)*, Mumbai, India, 31 березня – 1 квітня 2023 р. 2023.
8. J. Divasón та ін. Varroa Mite Detection Using Deep Learning Techniques / *Lecture Notes in Computer Science*. Cham, 2023. С. 326–337.
9. Kirchner W. H. Acoustical communication in honeybees. *Apidologie*. 1993. Т. 24, вип. 3. С. 297–307.
10. Detection of the Bee Queen Presence Using Sound Analysis / T. Cejrowski et al. *Intelligent Information and Database Systems*. Cham, 2018. С. 297–306.
11. S. Ruvunga та ін. Use of LSTM Networks to Identify “Queenlessness” in Honeybee Hives from Audio Signals / *2021 17th International Conference on Intelligent Environments (IE)*, Dubai, United Arab Emirates, 21–24 чер. 2021 р. 2021.
12. Nolasco I., Benetos E. To bee or not to bee: Investigating machine learning approaches to beehive sound recognition. *Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE)*. 2018.
13. S. Cecchi та ін. A preliminary study of sounds emitted by honey bees in a beehive / *Audio Engineering Society Convention 144*. 2018.
14. Verma P., Das P. K. i-Vectors in speech processing applications: a survey. *International Journal of Speech Technology*. 2015. Т. 18, н. 4. С. 529–546.

REFERENCES

1. Kremen C., Williams N. M., Thorp R. W. Crop pollination from native bees at risk from agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. Vol. 99, no. 26. P. 16812–16816.

URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.262413599> (date of access: 31.03.2024).

2. Netting and pan traps fail to identify the pollinator guild of an agricultural crop / K. J. Boyer et al. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, no. 1.

URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70518-9> (date of access: 31.03.2024).

3. Beyer N., Kulow J., Dauber J. The contrasting response of cavity - nesting bees, wasps and their natural enemies to biodiversity conservation measures. *Insect Conservation and Diversity*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1111/icad.12638> (date of access: 31.03.2024).

4. Kviesis A., Zacepins A. Application of neural networks for honey bee colony state identification. *2016 17th International Carpathian Control Conference (ICCC)*. 2016. P. 413–417.

5. Marstaller J., Tausch F., Stock S. DeepBees - Building and Scaling Convolutional Neuronal Nets For Fast and Large-Scale Visual Monitoring of Bee Hives. *2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, Seoul, Korea (South), 27–28 October 2019. 2019.

URL: <https://doi.org/10.1109/iccvw.2019.00036> (date of access: 31.03.2024).

6. Sledevic T. The Application of Convolutional Neural Network for Pollen Bearing Bee Classification. *2018 IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, Vilnius, 8–10 November 2018. 2018.

URL: <https://doi.org/10.1109/aiee.2018.8592464> (date of access: 31.03.2024).

7. NeuralBee - A Beehive Health Monitoring System / Y. Mahajan et al. *2023 International Conference on Communication System, Computing and IT Applications (CSCITA)*, Mumbai, India, 31 March – 1 April 2023. 2023.

URL: <https://doi.org/10.1109/cscita55725.2023.10104935> (date of access: 31.03.2024).

8. Varroa Mite Detection Using Deep Learning Techniques / J. Divasón et al. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham, 2023. P. 326–337.

URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-40725-3_28 (date of access: 31.03.2024).

9. Kirchner W. H. Acoustical communication in honeybees. *Apidologie*. 1993. Vol. 24, no. 3. P. 297–307. URL: <https://doi.org/10.1051/apido:19930309> (date of access: 31.03.2024).

10. Detection of the Bee Queen Presence Using Sound Analysis / T. Cejrowski et al. *Intelligent Information and Database Systems*. Cham, 2018. P. 297–306.

URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75420-8_28 (date of access: 31.03.2024).

11. Use of LSTM Networks to Identify “Queenlessness” in Honeybee Hives from Audio Signals / S. Ruvinga et al. *2021 17th International Conference on Intelligent*
10

Environments (IE), Dubai, United Arab Emirates, 21–24 June 2021. 2021. URL: <https://doi.org/10.1109/ie51775.2021.9486575> (date of access: 31.03.2024).

12. Nolasco I., Benetos E. To bee or not to bee: Investigating machine learning approaches to beehive sound recognition. *Workshop on Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events (DCASE)*. 2018.

13. A preliminary study of sounds emitted by honey bees in a beehive / S. Cecchi et al. *Audio Engineering Society Convention 144*. 2018.

14. Verma P., Das P. K. i-Vectors in speech processing applications: a survey. *International Journal of Speech Technology*. 2015. Vol. 18, no. 4. P. 529–546. URL: <https://doi.org/10.1007/s10772-015-9295-3> (date of access: 31.03.2024).

Received 24.04.2024.

Accepted 26.04.2024.

An adaptive approach to the bee hive state identification using neural networks and audio analysis

Problem statement. Monitoring the queen bee is crucial for the health and productivity of a bee colony. The queen plays a vital role in reproduction and maintaining the colony's population. Utilizing neural networks, such as CNNs along with sound analysis, can be a valuable tool for monitoring queen bees and assessing their behavior and health within the hive. *Purpose.* Finding the best way to preprocess audio data and review it is an important task that, if performed well, will help to track the bee hive population and its health state in general. *Related work.* With the development of deep learning, several studies were done on their application along with sound analysis in bee hive state identification, such as swarming or bee queen detection. *Materials and methods.* A public labeled dataset “To bee or not to bee” with bee hive sounds was used for training. It was split by source and then cut into pieces 4 seconds each. Then, CNN models were trained using different audio feature extraction methods, such as MFCCs and STFT. First, it was trained on a first audio set, and then trained models were utilized to analyze their performance on the evaluation set of the second audio set. *Results and discussion.* According to the training and evaluation results, MFCCs-based models have given constant good results, and when used on a limited audio dataset, pre-trained model showed better performance than the one trained from zero. *Conclusions.* The experiment showed that MFCCs is a better performant feature extraction method for a task of the bee hive sounds analysis and bee queen presence identification. Also, even though training a model on a full audio set results in better performance, pre-trained models can detect a bee queen absence in another hive even after an additional training on a limited audio dataset.

Key words: neural networks; tensorflow; deep learning; bees; MFCCs; STFT; bees; CNN; bee hive state; audio analysis.

Жуков Олександр Олексійович – аспірант кафедри програмної інженерії математичного факультету Запорізького національного університету.

Горбенко Віталій Іванович – к.ф.м.н, доцент, доцент кафедри Програмної інженерії математичного факультету Запорізького національного університету.

Zhukov Oleksandr Oleksiiovych – postgraduate student of the department of program engineering, faculty of Mathematics, Zaporizhzhia National University, Ukraine.

Horbenko Vitalii Ivanovych - candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, associate professor department of program engineering, faculty of Mathematics, Zaporizhzhia National University, Ukraine.

О.Г. Величко, В.Ю. Камкін, К.В. Рудько, Л.В. Камкіна

АНАЛІЗ РОЗВИТКУ РЕАКЦІЇ ОКИСЛЕННЯ ВУГЛЕЦЮ НИЗЬКОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ В КОВШІ ПІД ВАКУУМОМ

Анотація. Об'єкт дослідження процес вакуумування сталі в ковші. Мета дослідження – визначити степінь наближення реакцій дегазації до рівноваги та показники видалення за статтями. Методи дослідження теоретичні дослідження базуються на основних положеннях фізичної хімії і теорії металургійних процесів, термодинамічні розрахунки нерівноваги реакцій дегазації. Наукова новизна при вакуумних процесах дегазації істотну роль грає наближення відповідних реакцій до рівноваги, в промислових вакуумних установках рівновага між вуглецем і киснем, розчиненими в сталі, не досягається із за виключно малих концентрацій взаємодіючих речовин швидкість хімічної реакції зменшується настільки, що не дозволяє за час обробки навіть наблизитися до стану термодинамічної рівноваги. Практична значимість для забезпечення високого ступеня реалізації розкислювальної здатності вуглецю в умовах вакууму необхідно: застосовувати основну футеровку сталерозливних ковшів; підтримувати високу основність шлаку і мінімальний вміст оксидів заліза в ньому; перемішувати розплав в ковші інертним газом для полегшення умов зародження продуктів реакції окислення вуглецю. Ключові слова: дегазація, вакуумування, ківш, водень, азот, кисень, нерівноважність реакцій.

Аналіз стану питання. Конкуренція у металургії змушує виробників приділяти основну увагу якості сталі, що досягається шляхом зниження вмісту газів [1-3], домішок кольорових металів, неметалевих включень, легування, управління структурою та властивостями металу шляхом мікролегування, модифікування, термічної та термохімічної обробки. Одним із масових видів металопродукції є низьковуглецеві сталі. Хороші показники пластичності, зварюваності, відносна простота виготовлення та низька вартість зумовили використання цих сталей як один з основних конструкційних матеріалів [4]. Широко поширені низьковуглецеві сталі як автолистові, електротехнічні та корозійно-стійкі матеріали. З кожним роком у світі все більшою мірою зростає потреба в сталях, вміст вуглецю в яких становить 0.01-0.02% і менше. У конвертері важко отримати сталь із концентрацією вуглецю менше 0.03 – 0.05 %. Це пов'язано зі збіль-

шенням окиснення металу і шлаку, значними втратами заліза (які суттєво зростають при зниженні концентрації вуглецю), а також різким збільшенням зносу вогнетривкої футеровки. Тому при виробництві сталі з вмістом вуглецю менше 0.02% широко застосовуються технології, що поєднують переваги конвертера з комбінованим продуванням з подальшою обробкою сталі на вакуумних установках. Необхідний вміст вуглецю 0,0025...0,0030% у готовому металі забезпечує вакуумне зневуглецювання до 0,0015% з урахуванням приросту вмісту вуглецю під час доведення та розливання металу. Впровадження нових установок та освоєння нових марок сталей викликало необхідність розробки вдосконаленої технології їх виробництва, яка полягає у виробленні вимог до напівпродукту, технології глибокого зневуглецювання та позапічної обробки, вимог до матеріалів, що використовуються.

Широко поширене уявлення, що зневуглецювання при низьких концентраціях вуглецю контролюється переважно масопереносом вуглецю, не пояснює повною мірою всіх особливостей процесу [5, 6]. Тому виникла необхідність додаткового теоретичного дослідження процесу окиснення вуглецю, особливо за його ультранизького змісту.

Основою процесів зневуглецювання в сталеплавильних агрегатах є потоки кисню з газової фази в шлак і метал, і витрачання кисню на накопичення в шлаку, металі та окислення вуглецю і домішок. Рушійною силою перенесення є різниця відповідних потенціалів в фазах, які реагують. Процеси переносу кисню, вуглецю і теплової енергії, які здійснюються в промислових агрегатах за рахунок різниці потенціалів, є нерівноважними і протікають у відкритих системах. Незворотність реальних нерівноважних процесів супроводжується зміною ентропії, яка при цьому неминуче збільшується.

Обов'язковою умовою виробництва якісної і високоякісної сталі є ковшова обробка. Одним з поширених методів ковшової обробки є вакуумування в ковшах з одночасною продувкою металу інертним газом, зазвичай аргоном. Одна з основних цілей вакуумування - це зниження вмісту в металі розчинених газів - водню, кисню і, по можливості, азоту. Істотним показником ефективності процесу дегазації є повнота завершення реакцій, яка може бути оцінена за величиною наближення цих реакцій до рівноваги.

Викладення результатів дослідження. У даній роботі за результатами моделювання на математичній моделі [7] зроблена оцінка наближення реакцій дегазації до рівноваги і з'ясовані фактори, що впливають на неї. Розрахунки теплообміну показали, що прогрів бульбашки аргону відбувається при граничних

умовах першого роду, і час його нагрівання до температури металу становить 0,2-0,4 секунди, інші процеси не лімітуються. Згідно з розрахунками, масообмін газів в бульбашці з металом протікає при значеннях числа Біо дифузійного – Bi_D менше 0,2, що свідчить лише про зовнішнє лімітування, тобто стадією, що визначає швидкість процесу, є дифузія через прикордонний шар. Це відповідає відомим літературними даними [8,9], згідно з якими лімітуючою ланкою процесів дегазації є перехід реагентів через прикордонний шар на міжфазному кордоні між металом і газовою фазою.

При побудові динамічної моделі за її основу була прийнята відома модель вакуумного знеуглецювання [1] та доповнена процесом одночасного продування металу аргоном. До основних положень цієї моделі можна віднести такі:

- процеси масообміну металу з бульбашкою аргону при його спливанні, що відбуваються з газом, нагрітим до температури металу, і лімітуються тільки зовнішньою дифузією
- в зв'язку з інтенсивним перемішуванням склад металу за його обсягом вважається постійним;
- видалення розчинених газів відбувається за такими статтями витрат: в бульбашки CO, в бульбашки аргону і через поверхню металу вільну від шлаку.

При відхиленні системи від рівноваги виникають потоки речовин з металу в газову фазу, які пропорційні відповідним коефіцієнтам масовіддачі – β_i (м/с) і різниці концентрацій речовин в металі рівноважної з газовою фазою. При малих концентраціях речовин їх активності можуть бути замінені концентраціями (кг/м³). При цьому потік i -го компонента з металу в газову фазу буде визначатися рівнянням

$$j_i = \beta_i ([G]_i - [G]_{\text{рівн.}i}), \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}. \quad (1)$$

Концентрації водню, азоту і кисню, рівноважні з газовою фазою будуть знаходитися з виразів:

$$[H]_{\text{рівн.}} = K_H \cdot \sqrt{P_{H_2}}, \quad (2)$$

$$[N]_{\text{рівн.}} = K_N \cdot \sqrt{P_{N_2}}, \quad (3)$$

$$[O]_{\text{рівн.}} = \frac{P_{CO}}{[C] \cdot K_C}, \quad (4)$$

де K_H , K_N та K_C - константи рівноваги реакцій розчинення водню, азоту і окислення вуглецю.

При розрахунку потоку кисню вважалося, що разом з ним дифундує еквівалентна маса вуглецю. Маса речовин, які перейшли в газову фазу за певний період – (час спливання бульбашок CO і аргону, час контакту відкритої поверхні металу з газовою фазою) будуть

$$m_H = \int_0^{\tau} \beta_H ([H] - [H]_{\text{рівн.}}) S_H d\tau, \quad (5)$$

$$m_N = \int_0^{\tau} \beta_N ([N] - [N]_{\text{рівн.}}) S_N d\tau, \quad (6)$$

$$m_{CO} = 1,75 \int_0^{\tau} \beta_O ([O] - [O]_{\text{рівн.}}) S_{CO} d\tau, \quad (7)$$

де S_i – площа поверхні розділу фаз, зайнята потоком речовини i . У першому наближенні прийнято, що ці площі пропорційні відповідним потокам

$$S_i = \frac{j_i}{\sum j_i} S_p, \quad (8)$$

де S_p – повна поверхня контакту метал - газова фаза.

Маси водню і СО, які дифундують в газову фазу, по кожній з статей дифузії – k будуть

$$m_{H_k} = \int_0^{\tau} \beta_{H_k} ([H] - [H]_{eq_k}) S_{i_k} d\tau, \quad (9)$$

$$m_{CO_k} = 1,75 \int_0^{\tau} \beta_{O_k} ([O] - [O]_{eq_k}) S_{i_k} d\tau. \quad (10)$$

Парціальний тиск даного газу в відповідній газовій фазі розраховувався за виразом

$$P_i = \frac{(m_i/M_i) \cdot P}{\sum (m_i/M_i)}, \quad (11)$$

де P – загальний тиск в газовій фазі з урахуванням зміни гідростатичного і капілярного тиску по глибині, M – молекулярна маса даного газу. При розрахунку парціального тиску газів, що переходять в бульбашку аргону враховувалася і маса аргону в бульбашці.

Склад металу розраховувався як різниця початкового вмісту видаляемого газу $[G]_n$ і маси газів, що видаляються в газову фазу за всіма статтями

$$[G] = [G]_n - \sum_{i=1}^k \int_0^{\tau} \frac{m_i(\tau) \nu_p N_p}{V_M} d\tau, \quad (12)$$

де ν_p – частота утворення бульбашок СО або аргону, що виходять з одного сопла; N_p – кількість бульбашок, що виходять на міжфазну поверхню металу. При видаленні газів через відкриту поверхню ν_p та N_p не враховувались.

Як видно з виразу (1) інтенсивність потоків речовин пропорційна різниці фактичної і рівноважної концентрацій. Отже, управляти процесом дегазації можна, вибираючи оптимальні умови наближення системи до рівноваги (рис.1). Як показник наближення системи до рівноваги прийнято відношення вмісту газу в металі, рівноважне з парціальним тиском цього газу у відповідній газовій фазі, до фактичного його вмісту в металі

$$[G]_{\text{відн}} = [G]_{\text{рівн.},i} / [G]_i. \quad (13)$$

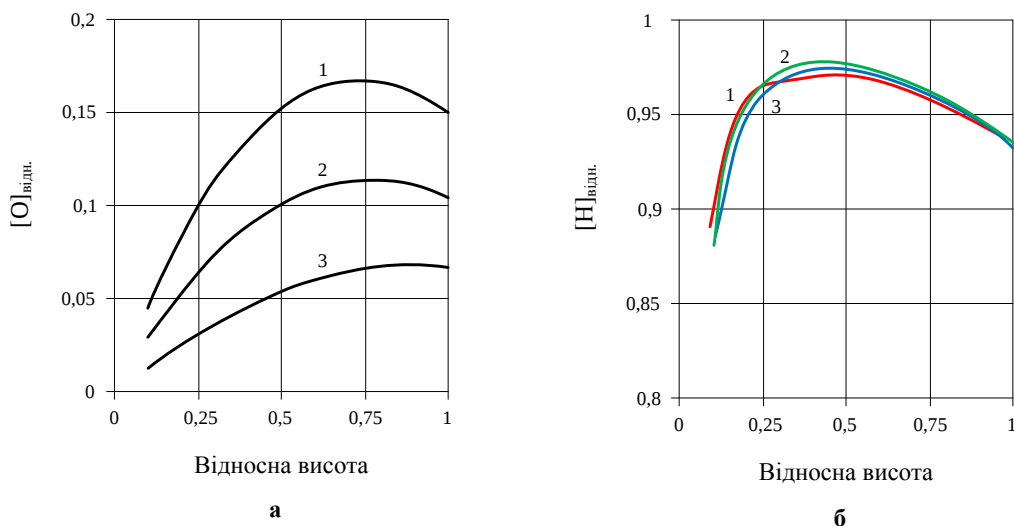


Рисунок 1 – Вплив числа сопел у вставці на наближення до рівноваги реакцій видалення кисню – а і водню – б; кількість сопел: 1 – 20, 2 – 10, 3 – 1

У початковій стадії видалення газів, коли в бульбашці або над поверхнею металу даний газ відсутній, його парціальний тиск дорівнює нулю і рівноважний з ним вміст газу також дорівнює нулю, отже, і це відношення також дорівнює нулю. При досягненні в металі концентрації, рівноважної з вмістом даного газу в газовій фазі, це відношення дорівнює одиниці. З метою пошуку можливих оптимальних режимів дегазації металу було проведено математичне моделювання впливу різних технологічних факторів на наближення системи до рівноваги. Кількість сопел в продувальній вставці впливає на наближення до рівноваги реакцій видалення кисню (у вигляді CO) і водню по висоті шару металу при їх дифузії в бульбашки аргону (рис. 1). Збільшення кількості сопел при однаковій витраті аргону призводить до зниження розмірів бульбашок і, як наслідок, зростання загальної площі поверхні. Реакція видалення кисню (зневуглецювання) далека від рівноваги і на повноту її завершення істотне значення справляє загальна площа поверхні бульбашок. Реакція видалення водню, навпаки, близька до рівноваги, і площа поверхні бульбашок практично не впливає. Як показало моделювання, видалення водню в бульбашку аргону пропорційно його витраті.

Швидке наближення реакції видалення водню до рівноваги пов'язано з низькою його масовою розчинністю в залізі і, як наслідок, з низьким рівноважним парціальним тиском водню в бульбашках аргону і CO.

Оцінка наближення до рівноваги реакцій видалення кисню, азоту та водню на десятій хвилині процесу вакуумування (рис. 2) показала, що найближче до рівноваги знаходиться реакція видалення водню, надалі - реакція видалення кисню, реакція видалення азоту займає проміжне місце.

Зміна парціального тиску газів в бульбашці аргону при спливанні в вакуумі показало, що в цьому випадку парціальний тиск водню також швидко досягає свого граничного значення і при подальшому підйомі практично не змінюється (рис. 3). Парціальний тиск CO проходить через максимум. У другій половині спливання парціальний тиск падає, так як загальний тиск знижується, а дифузія не встигає компенсувати це зниження.

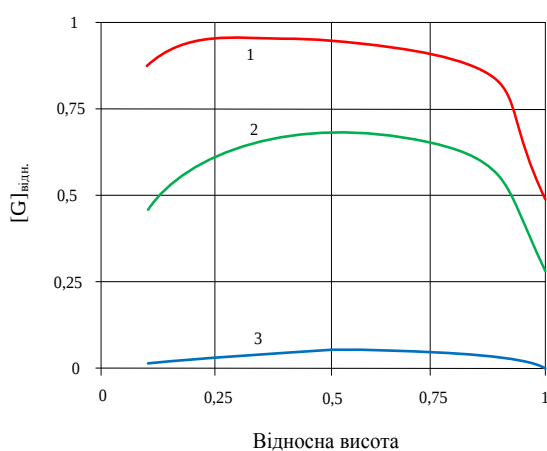


Рисунок 2 – Наближення до рівноваги реакцій видалення водню - 1, азоту - 2, кисню - 3

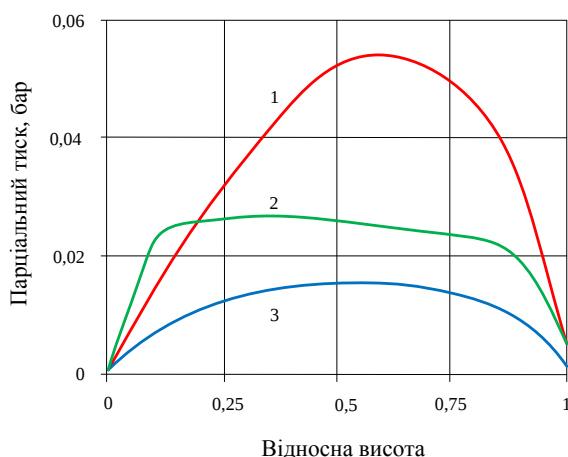


Рисунок 3 – Парціальний тиск газів в бульбашці аргону по ходу спливання:
1 – CO, 2 – H₂, 3 – N₂

В процесі спливання вміст газів в бульбашці аргону змінюється (рис. 4). Вміст CO в міхурі весь час помітно зростає, в той час як вміст водню істотно зростає тільки в верхніх горизонтах металу при низьких загальних тисках в бульбашці. Все це дозволяє пояснити суттєве наближення реакції видалення водню до рівноваги і досить слабе наближення для реакції зневуглицювання.

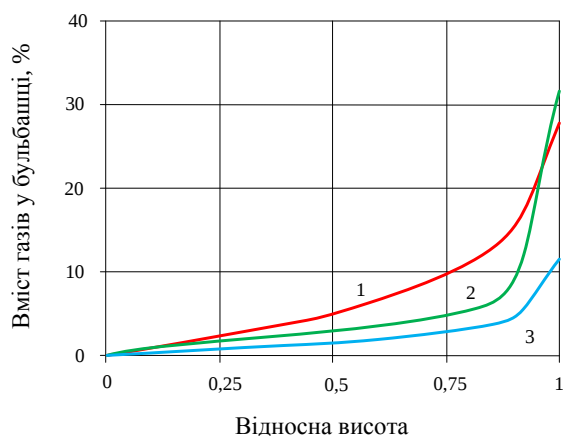


Рисунок 4 – Вміст газів у бульбашці аргону: 1 – CO, 2 – H₂, 3 – N₂

Величина наближення до рівноваги робить істотний вплив на долю видалення газів за статтями: в бульбашки CO, в бульбашки аргону і через відкриту поверхню металу. На рис. 5 наведено дані видалення водню за статтями при вакуумуванні, з якого випливає, що збільшення витрат аргону з 0,1 до 0,25 м³/хв підвищує його видалення в бульбашки аргону, приблизно, вдвічі, але при цьому падає частка видалення в бульбашки CO. Основною статтею є видалення через поверхню металу (60 – 70 %).

У зв'язку з цим для забезпечення високого ступеня реалізації раскислительной здатності вуглецю в умовах вакууму необхідно: застосовувати основну футеровку сталерозливних ковшів, до складу якої входять важко відновлюваністю оксиди; підтримувати високу основність шлаку і мінімальний вміст оксидів заліза в ньому; перемішувати розплав в ковші інертним газом для полегшення умов зародження продуктів реакції окислення вуглецю.

Як показує практика, при вмісті вуглецю в сталі близько 0,50% за рахунок вакуумно-вуглецевого розкислення концентрацію кисню в металі вдається знижувати до 0,002–0,003%, що нижче рівноважної з вмістом кремнію, але вище рівноважної з розчиненим у металі алюмінієм. Тому при введенні кремнію в метал після вакуумно-вуглецевого розкислення первинні ендogenous включення не утворюються. За рахунок зниження вмісту розчиненого в металі кисню шляхом розкислення вуглецем під вакуумом подальше облягати розкислення протікає з

мінімальним вигаром розкислювачів. Такий спосіб обробки рекомендується для виробництва вільної від великих оксидних включень і їх локальних скупчень особливо чистої сталі.

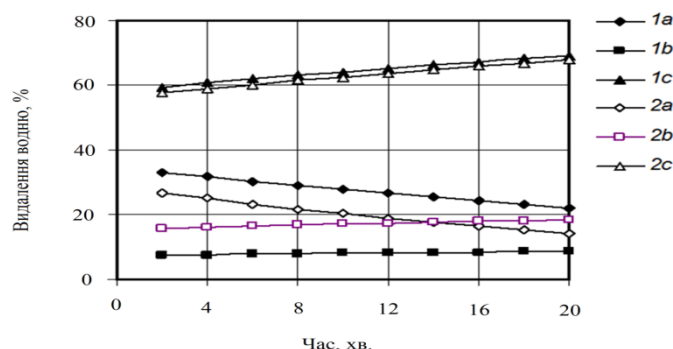


Рисунок 5 – Вплив витрати аргону на видалення водню за статтями:
а - в бульбашки CO, б - в бульбашки аргону,
в - через відкриту поверхню; витрата аргону: 1 – 0,1, 2 – 0,25 м³/хв

Для запобігання надмірно бурхливого розвитку під вакуумом реакції окислення вуглецю проводять часткове розкислення сталі шляхом підвищення в ній вмісту кремнію і (або) алюмінію. Завдяки перемішуванню металу і застосуванню порівняно невеликої кількості розкислювачів, можливе досягнення такого ж високого ступеня чистоти сталі по оксидним включенням, як і при вакуумуванні сталі в нерозкисленому виді.

Висновок. Як показали результати моделювання, реакція видалення водню близька до рівноваги, а кисню - далека від рівноваги. Для видалення водню в бульбашки аргону необхідно збільшувати витрату аргону, а кисню - площу поверхні бульбашок аргону.

ЛІТЕРАТУРА

1. Modeling of the Vacuum Oxygen Decarburization Refining Process. 2000. Metallurgical and Materials Transactions B 31(1):197-206. DOI:10.1007/s11663-000-0145-5.
2. R. Ding, Bart Blanpain, Peter Tom Jones, Patrick Wollants. Bubble behavior and evolution characteristics in the RH riser tube-vacuum chamber. Yihong Li, Hongwei Zhu, Rui Wang, Zhifeng Ren, Yibo He. International Journal of Chemical Reactor Engineering. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2022-0033>.
3. Mathematical model for decarburization of ultra-low carbon steel during RH treatment. Yu Huang, Guo-guang Cheng, Qiming Wang, Shi-jian Li, Wei-xing Dai. Ironmaking & Steelmaking. Volume 47, Issue 6, July 2020, Pages 655-664.

<https://doi.org/10.1080/03019233.2019.1567999>

4. Jean-Pierre Birat. Steel cleanliness and environmental metallurgy. Metall. Res. Technol. Volume 113, Number 2, 2016. <https://doi.org/10.1051/metal/2015050>
5. Bubble behavior and evolution characteristics in the RH riser tube-vacuum chamber. Yihong Li, Hongwei Zhu , Rui Wang , Zhifeng Ren, Yibo He. International Journal of Chemical Reactor Engineering. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2022-0033>.
6. Cho, S. M., B. G. Thomas, and S. H. Kim. 2018. "Bubble Behavior and Size Distributions in Stopper-Rod Nozzle and Mold during Continuous Casting of Steel Slabs." ISIJ International 58 (08): 1443–52.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2018-096>
7. Яковлев Ю.Н., Величко А. Г., Камкина Л.В. Математическая модель окисления углерода при вакуумной обработке стали в ковшах. // Вестник приазовского государственного технического университета. - Вып. № 10 - 2000. Мариуполь. - ПГТУ, 2000. - С. 45 - 52.
8. Меджибожский М.Я. Основы термодинамики и кинетики сталеплавильных процессов.—Киев-Донецк: Вища школа, 1979.—280с.
9. Кньюпель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали, М.: "Металлургия", 1973, 312 с.

REFERENCES

1. Modeling of the Vacuum Oxygen Decarburization Refining Process. 2000. Metallurgical and Materials Transactions B 31(1):197-206. DOI:10.1007/s11663-000-0145-5.
2. R. Ding, Bart Blanpain, Peter Tom Jones, Patrick Wollants. Bubble behavior and evolution characteristics in the RH riser tube-vacuum chamber. Yihong Li, Hongwei Zhu , Rui Wang , Zhifeng Ren, Yibo He. International Journal of Chemical Reactor Engineering. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2022-0033>.
3. Mathematical model for decarburization of ultra-low carbon steel during RH treatment. Yu Huang, Guo-guang Cheng, Qiming Wang, Shi-jian Li, Wei-xing Dai. Ironmaking & Steelmaking. Volume 47, Issue 6, July 2020, Pages 655-664.
<https://doi.org/10.1080/03019233.2019.1567999>
4. Jean-Pierre Birat. Steel cleanliness and environmental metallurgy. Metall. Res. Technol. Volume 113, Number 2, 2016. <https://doi.org/10.1051/metal/2015050>
5. Bubble behavior and evolution characteristics in the RH riser tube-vacuum chamber. Yihong Li, Hongwei Zhu , Rui Wang , Zhifeng Ren, Yibo He. International Journal of Chemical Reactor Engineering. <https://doi.org/10.1515/ijcre-2022-0033>.

6.Cho, S. M., B. G. Thomas, and S. H. Kim. 2018. "Bubble Behavior and Size Distributions in Stopper-Rod Nozzle and Mold during Continuous Casting of Steel Slabs." *ISIJ International* 58 (08): 1443–52.

<https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2018-096>

7. Yakovlev Yu.N., Velychko A. H., Kamkyna L.V. Matematycheskaia model okysleniia uhleroda pry vakuumnoi obrabotke staly v kovshakh. // Vestnyk pryazovskoho hosudarstvennoho tekhnicheskoho unyversyteta. - Выр. № 10 - 2000. Maryupol. - PHTU, 2000. - S. 45 - 52.

8. Medzhybozhskyi M.Ia. Osnovy termodynamyky y kynetyky staleplavlynk protsessov.—Kyev-Donetsk: Vyshcha shkola, 1979.—280s.

9. Kniuppel H. Raskyslenye y vakuumnaia obrabotka staly, M.:Metallurhiya, 1973, 312 s.

Received 24.04.2024.

Accepted 26.04.2024.

***Analysis of the development of the carbon oxidation reaction
of low-carbon steel in a bucket under vacuum***

Abstract. The object of research is the process of vacuuming steel in a ladle. The purpose of the study is to determine the degree of approach of degassing reactions to equilibrium and removal rates by articles. Research methods - theoretical studies are based on the basic provisions of physical chemistry and the theory of metallurgical processes, thermodynamic calculations of the non-equilibrium reactions of degassing. Scientific novelty - in vacuum degassing processes, the approximation of the corresponding reactions to equilibrium plays a significant role, in industrial vacuum installations, the equilibrium between carbon and oxygen dissolved in steel is not achieved due to extremely small concentrations of interacting substances, the speed of the chemical reaction decreases so much that it does not allow for processing time to even approach the state of thermodynamic equilibrium. Practical significance - to ensure a high degree of implementation of the deoxidizing ability of carbon in vacuum conditions, it is necessary to: apply the main lining of steel pouring ladles; maintain a high basicity of slag and a minimum content of iron oxides in it; mix the melt in the ladle with an inert gas to facilitate the conditions for the nucleation of carbon oxidation reaction products.

Key words: degassing, vacuuming, ladle, hydrogen, nitrogen, oxygen, nonequilibrium reactions.

Величко Олександр Григорович – член кореспондент АНУ, доктор технічних наук, професор, директор ННІ ІПБТ Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро).

Камкін Володимир Юрійович аспірант кафедри металургії чавуну та сталі ННІ ІПБТ Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро).

Рудько Катерина Вячеславівна – зам.директора ДП «Дніпростандартметрологія» з метрології (м. Дніпро).

Камкіна Людмила Володимирівна - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичних основ металургійних процесів ННІ ІПБТ Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро).

Oleksandr Hryhorovych Velychko - corresponding member of ANU, doctor of technical sciences, professor, director of the Institute of Scientific and Technical Research of the Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro).

Volodymyr Yuriyovych Kamkin - graduate student of the Department of Cast Iron and Steel Metallurgy, NNI IPBT, Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro).

Rudko Kateryna Vyacheslavivna - deputy director of metrology of Dniprostandartmetrologiya SE (Dnipro).

Lyudmila Volodymyrivna Kamkina - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Theoretical Foundations of Metallurgical Processes of the Ukrainian State University of Science and Technology (Dnipro).

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ З МЕТОЮ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ СТИСНЕННЯ

Анотація. Розвиток мережі Internet, поряд з доступністю все більш потужних комп'ютерів та інших цифрових пристроїв, камер, сканерів та принтерів, привели до широкого використання цифрових зображень. У зв'язку з цим зростає інтерес до поліпшення алгоритмів стиснення даних, наприклад зображень.

Стиснення даних є актуальним як для швидкості передачі, так і ефективності зберігання. Крім багатьох видів комерційного використання, технології стиснення становлять також інтерес у військовій галузі, наприклад, програми обробки даних телеметрії, отриманих від перехоплювачів ракет, або для архівного зберігання даних про зображення місцевості для моделювання оборонних дій.

Вирішення проблеми стиснення зображення або, в загальному сенсі, кодування зображення, використовувало досягнення та стимулювало розвиток багатьох галузей техніки та математики.

В статті досліджується фрактальне стиснення зображень — метод стиснення даних, що ґрунтується на використанні самоподібних патернів у зображенні. Цей метод дозволяє досягти високого ступеня стиснення за умови збереження деталей зображення.

Ключові слова: фрактал, фрактальне стиснення, самоподібність, афінні перетворення, коефіцієнт стиснення, декомпресія.

Постановка задачі. Фрактальне стиснення зображень є унікальним і ефективним підходом до стиснення даних, засноване на математичній теорії фракталів. У сучасності, це має важливі сфери застосування та переваги, які роблять його цінним інструментом у галузі обробки зображень. До основних переваг відносять:

1. Збереження деталей при стисканні. Однією з ключових переваг фрактального стиснення є його здатність зберігати високий ступінь деталізації зображень за відносно низького обсягу зберігання. Це особливо важливо для ситуацій, де потрібно зберегти якість зображення за обмежених ресурсів для зберігання та передачі даних.

2. Ефективність передачі через мережу. Фрактальне стиснення дозволяє створювати компактні зображення, що робить його придатним для передачі зображень через мережу з низькою пропускнуою здатністю. Це особливо актуально для мобільних пристроїв, Інтернету речей та інших сценаріїв, де широка смуга пропускання не завжди доступна.

3. Адаптивне стиснення для різних роздільних здатностей. Фрактальне стиснення дозволяє адаптувати рівень стиснення залежно від роздільної здатності та деталей зображення. Це означає, що воно може бути використане для стиснення різних розмірів зображень без значної втрати якості.

4. Архівування та зберігання даних. Фрактальне стиснення може бути корисним для архівування та довгострокового зберігання зображень, так як воно дозволяє ефективно зменшити обсяг даних, не втрачаючи важливої інформації. Це особливо важливо для бібліотек, архівів, дослідницьких баз даних та інших сховищ даних.

Фрактальне стиснення зображень залишається актуальним і цінним інструментом у сучасних умовах, завдяки своїм здібностям до ефективного стиснення, збереження деталей та адаптивності до різних сценаріїв використання. Тому дослідження його ефективності, оптимізація програмного коду для отримання більш швидкого та якісного результату стиснення, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фрактальне стиснення є інноваційним підходом до стиснення даних, заснований на використанні самоподібних фрактальних структур. Концепція фракталів, вперше запропонована Бенуа Мандельбротом у 1975 році, застосовується у різних галузях, включаючи геометрію, фізику та комп'ютерну графіку [1]. В останні десятиліття фрактальне стиснення стало однією з найважливіших технік стиснення зображень, що надає високий рівень стиснення з мінімальною втратою інформації.

Фрактальне стиснення відрізняється від традиційних методів стиснення, таких як JPEG або MPEG, які ґрунтуються на зменшенні надмірності даних. Натомість, фрактальне стиснення досліджує і витягує самоподібні візерунки зображення, що дозволяє представити його з використанням відносно невеликої кількості даних.

Фрактальне стиснення зображень має чудові властивості, які роблять його привабливим для дослідження і використання в обробці зображень. В багатьох наукових роботах досліджені головні властивості цього методу [2-5].

1. Однією з головних переваг фрактального стиснення є здатність зберігати дрібні деталі зображення. Традиційні методи стиснення, як правило, призводять до втрати високочастотних компонентів зображення, що призводить до втрати деталей і розмиття зображення. Фрактальне стиснення дозволяє відновити ці деталі, що робить його особливо корисним для додатків, що вимагають високого ступеня деталізації.

2. Фрактальне стиснення зображень ґрунтується на понятті самоподібності, де фрагменти зображення можуть бути точно або приблизно повторені в інших частинах зображення. Ця властивість забезпечує ефективне кодування та подання зображення з використанням обмеженого набору фрактальних операторів.

3. Фрактальне стиснення також знайшло застосування в цифруванні та передачі зображень за низької швидкості передачі даних. Його здатність представляти зображення з високим ступенем стиснення робить його зручним для використання в системах з обмеженою пропускну здатністю.

Мета дослідження - дослідження методу фрактального стиснення зображень з використанням варіативності вхідних даних, оптимізація програмного коду для покращення якості стиснення.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Фрактальний метод стиснення зображень з використанням афінних перетворень - це один із способів стиснення зображень, заснований на ідеях фракталів та самоподібності [6]. Цей метод дозволяє ефективно кодувати зображення шляхом опису їх структурних властивостей за допомогою набору афінних перетворень.

Логіка роботи методу

1. Декомпозиція зображення: початкове зображення поділяється на невеликі блоки - "блоки пікселів" (наприклад, прямокутник розміром 2×2 або 4×4 пікселя). Кожен блок сприймається як набір точок, які мають деяку локальну структуру.

2. Вибір базових перетворень: для кожного блоку пікселів шукаються афінні перетворення (масштабування, зсув, поворот), які найкраще підходять для наближення цього блоку. Ці перетворення обираються так, щоб мінімізувати помилку наближення.

3. Кодування: кожен блок пікселів кодується з використанням вибраного перетворення та коефіцієнтів, що описують різницю між вихідними значеннями пікселів і значеннями, отриманими в результаті перетворення. Таким чи-

ном, інформація про структуру зображення кодується у вигляді набору афінних перетворень та відповідних різниць.

4. Рекурсивна обробка: процес повторюється рекурсивно для кожного блоку, включаючи різниці дані, отримані на попередньому етапі. Це дозволяє створювати більш детальні описи зображення за допомогою набору афінних перетворень і різниць кожному рівні рекурсії.

5. Кодування структури: створюється код, що містить інформацію про структуру зображення, афінні перетворення і коефіцієнти різниць. Цей код може бути стиснутий далі з використанням стандартних методів стиснення даних.

6. Декодування: афінні перетворення застосовуються у зворотному порядку, починаючи з внутрішнього рівня рекурсії, і коефіцієнти різниць додаються назад до значень пікселів.

Перед стисненням, зображення перетворюється на чорно-біле. Це необхідно для:

1. Спрощення алгоритму. Зображення у відтінках сірого (чорно-білі) містять лише один канал яскравості замість трьох каналів кольору (червоного, зеленого та синього). Це спрощує алгоритми стиснення та зменшує кількість даних, з якими потрібно працювати.

2. Збереження деталей. Чорно-білі зображення мають менше інформації, ніж кольорові зображення, і, отже, можуть бути більш ефективно стиснуті з мінімальною втратою деталей.

Приклад роботи методу та аналіз результатів

На рисунку 1 наведено приклад роботи фрактального методу стиснення зображень. У якості вхідного зображення взято зображення формату jpg з роздільною здатністю 555x370 пікселів (програмно змінене на 256x256) та розміром 113 КБ.

У результаті роботи фрактального методу стиснення зображень доступна наступна інформація:

Time taken for compression = 0.291021 seconds

Compression ratio = 3.329912

Time taken for decompression = 0.457792

PSNR = 26.724437



Рисунок 1 – Результат роботи програми стиснення зображення: вхідне зображення (ліворуч), розкладання за допомогою квадродерева (по центру), відновлене зображення (праворуч)

Time taken for compression – це час, витрачений на стиснення зображення методом афінних перетворень. Значення визначається в секундах (з точністю до мілісекунд) і показує скільки часу зайняло виконання алгоритму стиснення.

Compression ratio – це коефіцієнт стиснення, який показує, наскільки зменшився розмір зображення після стиснення. Він розраховується як відношення кількості бітів у вихідному зображенні до кількості бітів після стиснення. У даному випадку значення коефіцієнта стиснення дорівнює 3.329912, що означає, що розмір стисненого зображення зменшився приблизно в 3.32 разів у порівнянні з оригінальним зображенням.

Time taken for decompression – це час, витрачений на декомпресію (відновлення зображення після стиснення). Також вимірюється в секундах.

PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) – використовується для вимірювання якості відновленого зображення в порівнянні з оригіналом. Він розраховується як відношення максимально можливого значення сигнал-шум до квадрата середньоквадратичної помилки між оригінальним та відновленим зображеннями. Чим вище PSNR, тим краще якість відновленого зображення. У даному випадку значення PSNR дорівнює 26.724437, що вказує на задовільну якість відновленого зображення.

Оптимізація програмного коду для покращення якості стиснення

Проведено дослідження, наскільки сильно вплине на швидкодію програмного продукту експериментальне втручання та зміна програмного коду для досягнення кращої або гіршої якості зображення.

1. Погіршення якості зображення. У кодi, щоб отримати зображення найгіршої якості, були внесені наступні зміни. У рядку $s = \text{qtdecomp}(I, 0.1, [216])$; було зменшено граничне значення до 0.1. Це означає, що алгоритм агресивніше розбиватиме зображення на блоки. У аргументі [2 16] у функції `qtdecomp`, було зменшено розмір блоків, щоб вони були меншими. Це призведе до більшого розбиття зображення. Інші частини коду залишилися без змін. У результаті ці зміни роблять розбиття зображення грубішим і сильно стискають дані, що призводить до погіршення якості зображення.

Вхідні дані: зображення формату `jpg` з роздільною здатністю 555x370 пікселів (програмно змінене на 256x256) та розміром 113 КБ.

Отримані результати наведено у таблиці 1.

Аналіз результату. Коефіцієнт стиснення зріс удесятеро, що говорить про значне погіршення якості зображення. Також спостерігається істотна зміна таких показників, як `Time taken for compression`, `Time taken for decompression` і `PSNR`. Значення показників `Time taken for compression` і `Time taken for decompression` вказують на непомітну оптимізацію коду. Адже швидкість виконання операцій та отримання достовірного результату є основою будь-якого хорошого програмного продукту. Змінений код вирішує питання продуктивності всього програмного продукту. Але в той же час варто врахувати: саме в цьому випадку з помітним підвищенням продуктивності так само помітно падає і якість одержуваного результату. Показник `PSNR` (який є показником у свою чергу якості відновленого зображення порівняно з оригіналом) дорівнює 19.539598, що свідчить (залежно від переваги користувача або кінцевого споживача) про відносно погану якість отриманого зображення.

2. Покращення якості зображення. Для отримання зображення кращої якості було внесено наступні зміни. У рядку $s = \text{qtdecomp}(I, 0.6, [4128])$; було збільшено граничне значення до 0.6. Це означає, що алгоритм більш консервативно розбиватиме зображення на блоки. У аргументі [4 128] у функції `qtdecomp` було збільшено розмір блоків. Блоки будуть більшими і міститимуть більше деталей. Інші частини коду залишилися без змін.

Вхідні дані: зображення формату `jpg` з роздільною здатністю 555x370 пікселів (програмно змінене на 256x256) та розміром 113 КБ.

Отримані результати наведено у таблиці 1.

Аналіз результату. Результат надає абсолютно протилежні дані, порівняно з попереднім результатом. З візуально помітним покращенням якості зобра-

ження значно підвищилося споживання ресурсів обладнанням, і водночас час обробки.

На рисунку 2 наведено порівняння результатів експериментів для початкового експерименту, при грубому розбитті (при погіршенні якості) та при консервативному розбитті (при покращенні якості).

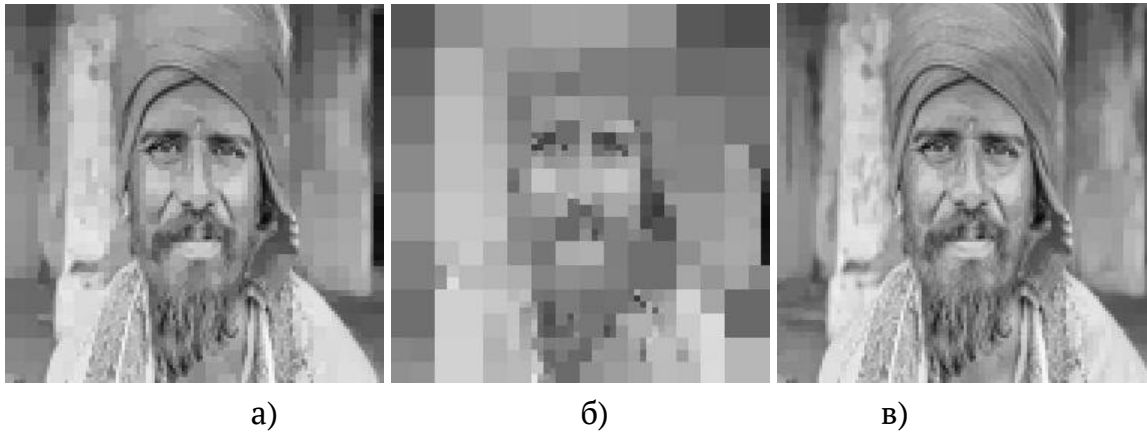


Рисунок 2 – Порівняння результатів експериментів: а) результат початковий; б) результат погіршення якості; в) результат покращення якості

У таблиці 1 наведено порівняння результатів експериментів. Наведено чотири показники алгоритму стиснення зображення для початкового експерименту, при грубому розбитті (при погіршенні якості) та при консервативному розбитті (при покращенні якості).

Таблиця 1

Порівняння результатів з покращення/
погіршення якості стиснення зображення

Показники алгоритму стиснення зображення	Експерименти		
	Початковий варіант	Погіршення якості (грубе розбиття)	Покращення якості (консервативне розбиття)
	Значення показника		
Time taken for compression	0.291021	0.166994	1.195880
Compression ratio	3.329912	46.516547	1.987957
Time taken for decompression	0.457792	0.161126	0.774696
PSNR	26.724437	19.539598	28.145178

Висновки. Фрактальний метод стиснення зображень з використанням афінних перетворень дозволяє досягти високого ступеня стиснення, зберігаючи структурні особливості зображення. Однак цей метод вимагає немало обчислювальних ресурсів та складних алгоритмів для пошуку оптимальних перетворень та кодування даних.

В ході дослідження була детально проаналізована базова версія створеного програмного коду для внесення необхідних до завдання змін, щоб зберігати базове призначення програмного продукту. Крім того, були проаналізовані результати налагодження, які свідчать про підвищення та зниження продуктивності коду. Порівнюючи вихідні дані, також можна зробити висновки, що внесені зміни добре демонструють гнучкість і розширюють програмні можливості продукту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mandelbrot, B.B. (1982) The Fractal Geometry of Nature. Freeman Press, New York.
2. Barnsley M. Fractals Everywhere / M. Barnsley. – London: Academic Press Inc., 1988. – 370 p.
3. Zhang Aihua, 2014. Fractal image coding combined with discrete cosine transform complement. Computer Technology and Development, Vol. 24, No. 1, pp. 61–68.
4. Ватолін, Д. Методи стиснення даних / Д. Ватолін, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: Діалог-МИФИ, 2002. – 381 с.
5. Карпов, П. М. Швидкий фрактальний алгоритм стиснення зображень [Текст] / П. М. Карпов. – Наукова сесія МИФИ, 2006. – Т. 15.
6. Шашин К.В., Журба А.О. Дослідження фрактального методу кодування зображень // Молодь: наука та інновації: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року: у 2-х т. / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. Том 2. С. 12-13.

REFERENCES

1. Mandelbrot, B.B. (1982) The Fractal Geometry of Nature. Freeman Press, New York.
2. Barnsley M. Fractals Everywhere / M. Barnsley. – London: Academic Press Inc., 1988. – 370 p.
3. Zhang Aihua, 2014. Fractal image coding combined with discrete cosine transform complement. Computer Technology and Development, Vol. 24, No. 1, pp. 61–68.

4. Vatolin, D. Data compression methods / D. Vatolin, A. Ratushnyak, M. Smirnov, V. Yukin. - M.: Dialog-MYFI, 2002. - 381 p.
5. Karpov, P. M. Fast fractal image compression algorithm [Text] / P. M. Karpov. – Scientific session of MYFI, 2006. – Vol. 15.
6. Shashin K.V., Zhurba A.O. Study of the fractal image coding method // Youth: science and innovation: materials of the 11th International scientific and technical conference of students, postgraduates and young scientists, Dnipro, November 22-24, 2023: in 2 volumes / National Technical University "Dnipro Polytechnic" – Dnipro: NTU "DP", 2023. Volume 2. P. 12-13.

Received 25.04.2024.

Accepted 26.04.2024.

Study of fractal image compression method with the purpose of improving compression quality

The development of the Internet, along with the availability of increasingly powerful computers and other digital devices, cameras, scanners and printers, has led to the widespread use of digital images. In this regard, interest in improving data compression algorithms, such as images, is growing.

Data compression is important for both transfer speed and storage efficiency. In addition to many commercial uses, compression technologies are also of interest in the military industry, such as applications for processing telemetry data from missile interceptors or for archiving terrain image data for defense simulations.

Solving the problem of image compression, or, more generally, image coding, has used advances and stimulated the development of many fields of engineering and mathematics.

The article examines fractal image compression — a data compression method based on the use of self-similar patterns in an image. This method allows you to achieve a high degree of compression while preserving image details.

Fractal image compression is a unique and efficient approach to data compression based on the mathematical theory of fractals. Nowadays, it has important applications and advantages that make it a valuable tool in image processing. The main advantages include:

- 1. Preservation of details during compression. One of the key advantages of fractal compression is its ability to preserve a high degree of image detail in a relatively small amount of storage. This is especially important in situations where image quality must be preserved with limited storage and data transfer resources.*

2. *Efficiency of transmission through the network. Fractal compression allows for compact images, making it suitable for image transmission over a low-bandwidth network. This is especially true for mobile devices, the Internet of Things, and other scenarios where high bandwidth is not always available.*

3. *Adaptive compression for different resolutions. Fractal compression allows you to adapt the level of compression depending on the resolution and details of the image. This means that it can be used to compress various image sizes without significant loss of quality.*

4. *Data archiving and storage. Fractal compression can be useful for archiving and long-term storage of images, as it allows you to effectively reduce the amount of data without losing important information. This is especially important for libraries, archives, research databases and other data repositories.*

Fractal image compression remains a relevant and valuable tool in today's environment, thanks to its ability to efficiently compress, preserve details, and adapt to different usage scenarios. Therefore, the study of its efficiency, the optimization of the software code to obtain a faster and better compression result, is an urgent task.

Журба Анна Олексіївна - доцент кафедри Інформаційних технологій і систем ІІБТ УДУНТ.

Zhurba Anna - assistant professor, Department of information technology and systems, Institute of industrial and business technologies, Ukrainian state university of science and technologies.

С.С. Василів, К.В. Тернова

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВПЛИВУ ПРОДУКТІВ ДЕТОНАЦІЇ НА НАДЗВУКОВИЙ ПОТІК ПОВІТРЯ

Анотація. Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення швидкодії і величини керуючого імпульсу ракетних двигунів, для здійснення маневрів в атмосфері. Одним з напрямків, який розглядається в роботі, є застосування детонаційного шнурового двигуна. Оскільки при його роботі генерується ударна хвиля високої інтенсивності, то газодинамічні ефекти при її розповсюдженні також можна використати для корекції траєкторії польоту ракети. Найбільший вплив такої системи керування вектором тяги буде реалізовуватися при обтіканні поверхні ракети надзвуковим набігаючим потоком повітря. Мета роботи – оцінка параметрів взаємодії продуктів детонації з надзвуковим потоком повітря. Для досягнення мети застосовується чисельне моделювання. Визначено діапазон тиску та тривалість процесу, що дозволяє провести вибір обладнання та планування експерименту. Отримано картини розподілу швидкості та тиску в моделі з плином часу. Результати моделювання будуть використовуватися для проведення експериментальних досліджень.

Ключові слова: детонація, шнуровий двигун, надзвуковий потік, ударна хвиля.

Постановка проблеми. Ракети різних типів, що запускаються з поверхні Землі, долають опір атмосфери. При цьому частка кінетичної енергії втрачається на подолання атмосферного впливу. Але аеродинамічний вплив можна також використовувати для керування польотом ракети [1]. Для цього необхідно мати можливість змінювати в польоті тим чи іншим способом сили, що на неї діють. Використовують або зміну вектора тяги, або поверхневі сили – ті, які можуть утворювати моменти відносно центра мас ракети. Змінюючи величину і напрямок дії цих сил, змінюють величину і напрямок вектора швидкості ракети. Ця зміна відбувається за рахунок органів керування ракети.

Існує два способи створення керуючих сил та моментів [2]:

- аеродинамічний;
- газодинамічний.

Принцип створення керуючих сил та моментів аеродинамічними та газодинамічними органами керування практично однаковий, різниця тільки у робочому тілі, що взаємодіє з рулями. У першому випадку (аеродинамічні органи керування) як робоче тіло використовується повітря, у якому відбувається політ літального апарата, а в іншому випадку (газодинамічні органи керування) – газовий потік ракетного двигуна [3]. На даний час існує велика кількість органів керування, що використовуються на сучасній ракетній техніці [4-6]. Газодинамічні системи зазвичай використовуються в ракетних двигунах з метою зміни вектора тяги [7], рідше - для створення несиметричного обтікання повітрям корпусу [8]. Але застосування детонаційного процесу для подібної схеми може мати кращі енергетичні та динамічні характеристики в порівнянні з існуючими системами. Керуюча сила в такій схемі створюється не лише за рахунок реактивної сили маси продуктів детонації, що викидаються з газогенератора, але й впливом інтенсивної ударної хвилі на картину обтікання ракети надзвуковим потоком. Тому цікаво провести оцінку працездатності та ефективності в експерименті.

Одне з головних завдань проведення експериментальних досліджень полягає у створенні наукової бази даних. Ця інформація обробляється статистичними методами, визначається похибка вимірювань. Верифікація чисельних розрахунків з експериментом дозволяє розробити модель процесу взаємодії детонаційної хвилі з надзвуковим потоком.

Мета дослідження – апріорне чисельне дослідження впливу детонаційної хвилі на надзвуковий потік в соплі.

Моделювання проводилося в прикладному програмному пакеті Solid Works. Геометричні параметри моделі проілюстровані на рис. 1 і збігаються з експериментальною моделлю. Вона являє собою плоске сопло, одна з стінок має більшу довжину за іншу і імітує поверхню ракети. Повітря, розганяючись в соплі до надзвукових швидкостей з числом Маха $M=1,3...2$, обтікає цю стінку. Розміщуючи в ній пристрої, що впливають на потік, можна дослідити їх вплив і можливість створення бокової (керуючої) сили. При застосуванні детонації для збурення потоку в ньому породжується інтенсивна ударна хвиля, яка змінює розподіл тиску по поверхні стінки. Для фіксації цього збурення з часом в стінці виготовлено отвори для датчиків тиску.

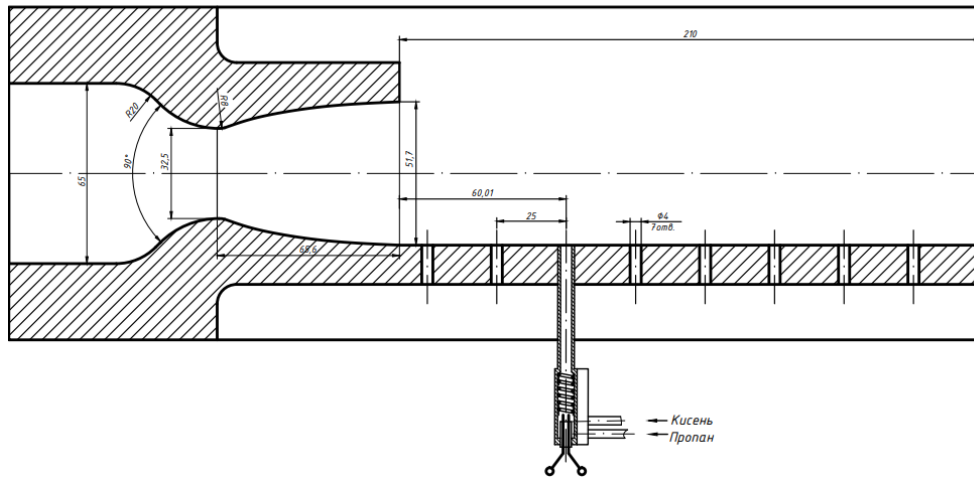


Рисунок 1 – Схема експериментальної моделі

Модель для чисельного експерименту являла собою прямокутну область, в лівому нижньому куті якої знаходилася зона постачання повітря зі швидкістю 500 м/с і атмосферним тиском на зрізі сопла. Нижня сторона була не проникною і імітувала поверхню ракети. Всі інші - проникні стінки. Тиск зовнішнього середовища рівний атмосферному. На відстані 60 мм на нижній стінці розміщено зону, через яку здійснювався вдув продуктів детонації. Оскільки в експерименті планується застосовувати компоненти палива пропан/кисень, то в моделюванні використовувалися параметри їх детонації при початковому тиску рівному атмосферному.

Моделювання проводилося в плоскій нестационарній постановці.

Для моменту часу, коли потік вирівнявся, тиск на всій області моделі майже однаковий і дорівнює атмосферному. Графік швидкості проілюстрований на рис. 2.

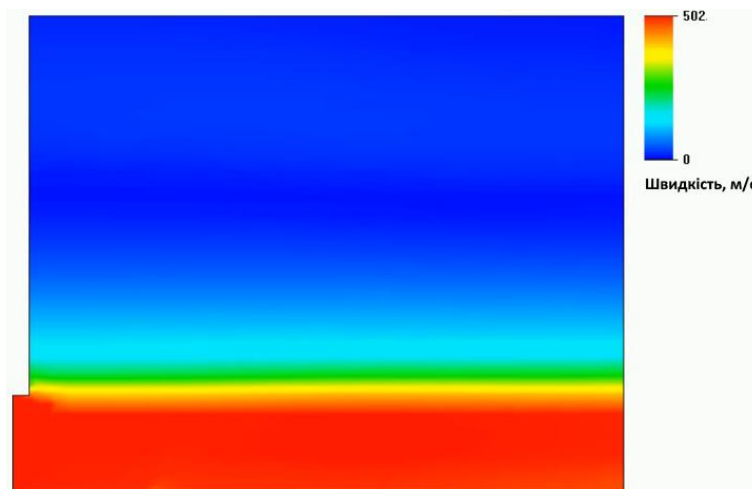
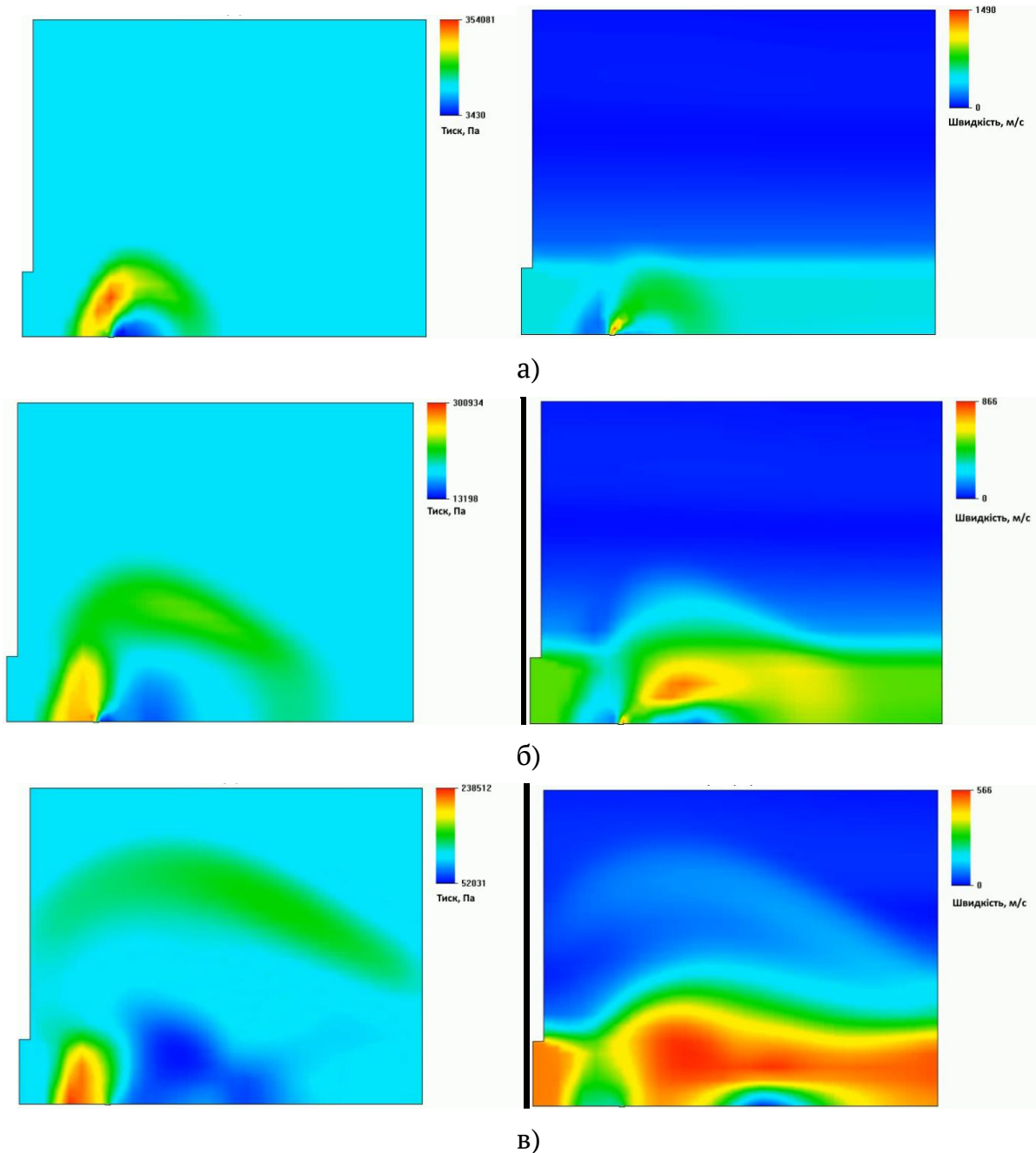


Рисунок 2 – Розподіл швидкості по розрахунковій області

В певний момент часу ініціюється детонаційна хвиля і продукти детонації вдуваються в надзвуковий потік, породжуючи інтенсивну ударну хвилю. Оскільки в моделі немає верхньої стінки, то ударна хвиля розповсюджується в навколишнє середовище, виходячи з надзвукового потоку. Еволюцію ударної хвилі в картинах тиску і швидкості проілюстровано на рис. 3.



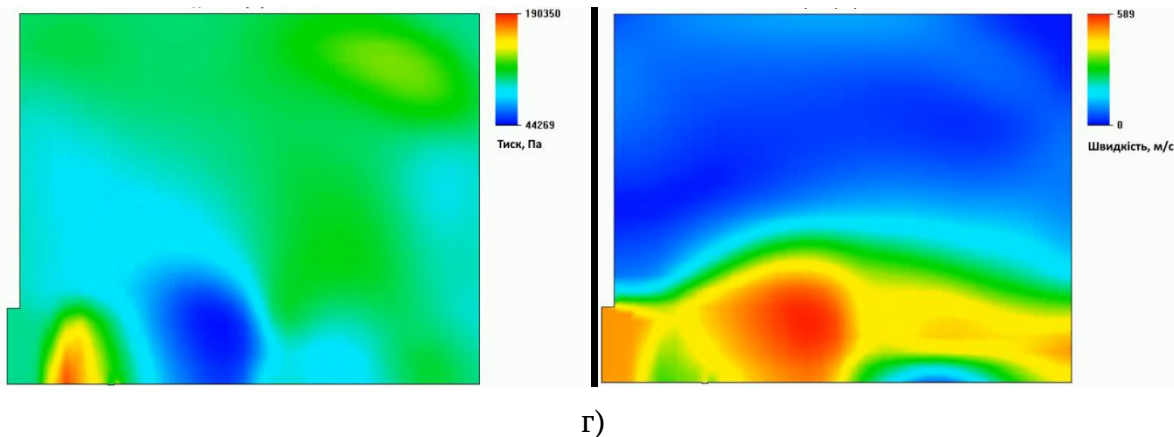


Рисунок 3 – Розподіл тиску і швидкості з плином часу: а) $t=0,0001$ с;
б) $t=0,0002$ с; в) $t=0,0004$ с, г) $t=0,0006$ с

Максимальне значення тиску на поверхні стінки - $3,5 \cdot 10^5$ Па. Детонаційна хвиля, виходячи в надзвуковий потік повітря, що обтікає ракету, породжує інтенсивну ударну хвилю. Вона змінює розподіл тиску по поверхні стінки. Продукти детонації, розширюючись створюють за газогенератором зону розрідження. Час, протягом якого відбувається процес вдуву, становить 2 мс, а відновлення потоку триває ще 3 мс. Тому для проведення експерименту необхідні датчики тиску з частотою реєстрації не менше 1 кГц. Для відео фіксації структури потоку камера повинна мати частоту більше 1000 кадрів /с.

Висновки. Проведено апріорне чисельне моделювання з метою оцінки параметрів взаємодії продуктів детонації з надзвуковим потоком повітря. Визначено діапазон тиску та тривалість процесу, що дозволяє провести вибір обладнання та планування експерименту. Отримано картини розподілу швидкості та тиску в моделі з плином часу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ракета как объект управления / И. М. Игдалов, Л. Д. Кучма, Н. В. Поляков, Ю. Д. Шептун / под ред. С. Н. Конюхова. – Днепропетровск : Арт – Пресс, 2004. – 544 с.
2. Проектирование зенитных управляемых ракет / Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова. – Изд. МАИ. – 1999. – 728 с.
3. Динамическое проектирование ракет. Задачи динамики ракет и их космических ступеней / И. М. Игдалов, Л. Д. Кучма, Н. В. Поляков, Ю. Д. Шептун. – Днепропетровск : ДНУ, 2010. – 264 с.
4. Flamm, J. D., Deere, K. A., Mason, M. L., Berrier, B. L., and Johnson, S. K., Experimental Study of an Axisymmetric Dual Throat Fluidic Thrust Vectoring Nozzle for

Supersonic Aircraft Application / 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 08 July 2007 - 11 July 2007, Cincinnati, OH.

5. Eilers, S.D., Wilson, M.D., Whitmore, S.A., Peterson, Z.W. Side-force amplification on an aerodynamically thrust-vectoring aerospike nozzle / J. Propuls. Power. –Vol. 28. – 2012. P. 811–819.

6. Katzmann J.S., Propst M., Tajmar M., Bach Ch. Investigation of Aerodynamic Thrust-Vector Control for Aero-Spike Nozzles in Cold Gas Experiments / Conference: Space Propulsion. – 2021. – P. 1 – 12.

7. Коваленко Н.Д. Ракетный двигатель как исполнительный орган системы управления полетом ракет / Н.Д. Коваленко. – Днепропетровск. : ИТМ НАН и НКА Украины. – 2003. – 412 с.

8. Скоростная противоракета 5Я26 для системы С-225 / Эскизный проект. Том 1. Книга 6. Бортовая аппаратура управления ракеты 5Я26. Часть I. Автопилот 5А13. – КБ «Стрела». – 1971. – 411с.

REFERENCES

1. Rocket as an object of control / I. M. Igdalov, L. D. Kuchma, N. V. Polyakov, Yu. D. Sheptun / ed. S. N. Konyukhova. – Dnepropetrovsk : Art - Press, 2004. – 544 с.

2. Design of anti-aircraft guided missiles / Ed. I.S. Golubeva and V.G. Svetlova - Ed. MAI - 1999. - 728 p.

3. Dynamic design of missiles. Problems of dynamics of rockets and their space stages / I. M. Igdalov, L. D. Kuchma, N. V. Polyakov, Yu. D. Sheptun. – Dnepropetrovsk: DNU, 2010. – 264 p.

4. Flamm, J. D., Deere, K. A., Mason, M. L., Berrier, B. L., and Johnson, S. K., Experimental Study of an Axisymmetric Dual Throat Fluidic Thrust Vectoring Nozzle for Supersonic Aircraft Application / 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, 08 July 2007 - 11 July 2007, Cincinnati, OH.

5. Eilers, S.D., Wilson, M.D., Whitmore, S.A., Peterson, Z.W. Side-force amplification on an aerodynamically thrust-vectoring aerospike nozzle / J. Propuls. Power. –Vol. 28. – 2012. P. 811–819.

6. Katzmann J.S., Propst M., Tajmar M., Bach Ch. Investigation of Aerodynamic Thrust-Vector Control for Aero-Spike Nozzles in Cold Gas Experiments / Conference: Space Propulsion. – 2021. – P. 1 – 12.

7. Kovalenko N.D. The rocket engine as the executive body of the rocket flight control system / N.D. Kovalenko. - Dnipropetrovsk. : ITM NAS and SSA of Ukraine. - 2003. - 412 p.

8. High-speed anti-missile 5Y26 for the S-225 system / Sketch project. Volume 1. Book 6. On-board control equipment of the 5Я26 rocket. Part I. Autopilot 5А13. - CB "Strela". - 1971. - 411 p.

Received 26.04.2024.

Accepted 30.04.2024.

***Numerical simulation of the influence of detonation products
on a supersonic airflow process***

Currently, there is a large number of control bodies used in modern rocket technology. Gasdynamic systems are usually used in rocket engines to change the thrust vector, less often - to create asymmetric air flow around the case. But the application of the detonation process for such scheme can have better energy and dynamic characteristics compared to existing systems. The driving force in such scheme is created not only by the reactive mass force of detonation products ejected from the gas generator, but also by the effect of an intense shock wave on the pattern of supersonic flow around the rocket. Therefore, it is necessary to evaluate the performance and efficiency of the experiment.

The purpose of the study is a priori numerical study of the detonation wave effect on the supersonic flow in the nozzle.

Modeling was carried out in the Solid Works application software package.

The geometric parameters of the model coincide with the experimental model. It is a flat nozzle, one of the walls is longer than the other and imitates the surface of the rocket. Air, accelerating in the nozzle to supersonic speeds with Mach number $M=1.3...2$, flows around this wall. Setting devices affecting the flow in it, it is possible to investigate their influence and the possibility of creating a lateral (controlling) force. When detonation is used to disturb the flow, an intense shock wave is generated in it, which changes the pressure distribution on the wall surface. Some holes for pressure sensors are made in the wall to fix this disturbance over time.

A priori numerical modeling was carried out in order to estimate the parameters of the interaction of detonation products with the supersonic air flow. The pressure range and duration of the process have been determined, which allows selection of equipment and planning of the experiment. Patterns of velocity and pressure distribution in the model over time were obtained.

Key words: detonation, string engine, supersonic flow, shock wave.

Тернова Катерина Віталіївна – старший науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.

Василів Степан Степанович – старший науковий співробітник Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України, к.т.н.

Ternova Katerina Vitalivna – senior researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, PhD.

Vasiliv StepanStepanovych – senior researcher, Institute of Technical Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine and State Space Agency of Ukraine, PhD.

К.Ю. Островська, І.В. Стовпченко, Є.В. Островський

РОЗРОБКА ПІДХОДУ ДО ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВОГО ПЗ ДЛЯ ANDROID З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ

Анотація. Метою роботи є розробка підходу для виявлення шкідливого програмного забезпечення для операційної системи Android на основі статистичного аналізу з використанням методів глибокого навчання. Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі: 1. Дослідження особливостей Android додатків і розробка способу подання додатка для подальшого аналізу безпеки. 2. Дослідження методів глибокого навчання і вибір найбільш відповідного з них. 3. Розробка підходу до виявлення шкідливого програмного забезпечення для Android з використанням методів глибокого навчання. Основна ідея підходу уявлення Android додатку у вигляді зображення для подальшого аналізу згортовою нейронною мережею, причому в цьому зображенні пікселі представляють послідовність пар API виклику і відповідному йому рівню захисту, який виводиться з дозволу, яке необхідно для виклику API.

Ключові слова: операційна система, Android, Android додатки, штучна нейронна мережа, згортова нейронна мережа, API, алгоритм, класифікація, машинне навчання.

Згідно з останніми звітами про поширеність на ринку різних операційних систем [1] Android займає більше 75% ринку значно випереджає своїх найближчих суперників. В даний час Android виповнюється на великий збір різних типів пристроїв і форм-факторів, будь то смартфон, планшет, електронна книга, наручний годинник, фітнес-браслет, ноутбук, телевізор, бортовий комп'ютер автомобіля, розумні окуляри і багато інших пристроїв. З огляду на таку поширеність, гнучкість і багатофункціональність Android, не дивно, що дана операційна система є і найпопулярнішою серед розробників шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ), причому Android є не тільки найпопулярнішою платформою для ШПЗ серед мобільних ОС, але і серед настільних, значно випереджаючи свого найближчого конкурента - ОС Windows [2].

Метою роботи є розробка підходу для виявлення шкідливого програмного забезпечення для операційної системи Android на основі статистичного аналізу з використанням методів глибокого навчання.

Основна ідея підходу - уявлення Android-додатки у вигляді зображення для подальшого аналізу згортковою нейронною мережею, причому в цьому зображенні пікселі представляють послідовність пар API виклику і відповідному йому рівню захисту, який виводиться з дозволу, яке необхідно для виклику API. На рисунку 1 представлено пропонуємий підхід.

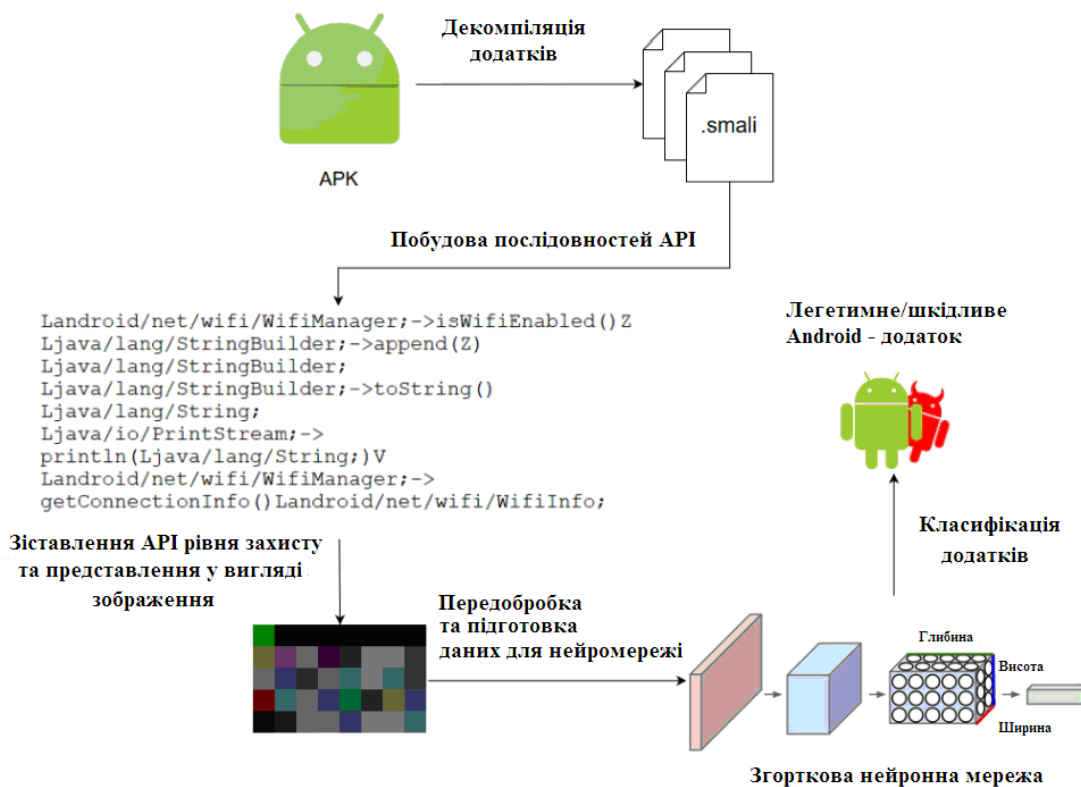


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема розробленого підходу

Спочатку Android-додаток декомпілюється, байт-код `classes.dex` дізасемблірується в код `smali`. Далі проводиться аналіз отриманого коду і побудова графа потоку управління, за яким і виконується побудова послідовності API викликів. Варто враховувати, що великі програми можуть містити кілька файлів `classes.dex`, тому це необхідно враховувати при аналізі. Отриманим API викликам зіставляються відповідні рівні захисту, і таким чином формуються уявленні додатки. Один з ключових моментів даного підходу - це уявлення Android-додатку для згорткової нейронної мережі. Перетворення даної отриманої на попередньому кроці послідовності в зображення описується в наступному підрозділі.

На останньому кроці заздалегідь навчена згортова нейронна мережа (на виборці, яка формується таким же чином, як зазначено вище), вирішує завдання класифікації заданого додатки на легітимні і шкідливі.

Подання пари API і рівня захисту. для даного дослідження була обрана згортова нейромережа, яка очікує на вхід дані в форматі зображення.

З кожною новою версією Android кількість доступних API росте, крім того в даній роботі враховуються API Java і Javaх, тому точну кількість API назвати не можна, це сотні тисяч API, що безумовно лежить в межах між 2^{16} і 2^{24} . З огляду на, що все 3 канали пікселя вже зайняті кодом API, то для рівня захисту можна було б відвести альфа-канал, а коди рівнів впорядкувати таким чином, щоб більш небезпечного рівня захисту відповідало більше числове значення.

Таким чином, більш прозорі пікселі будуть відповідати менш небезпечними API, а менш прозорі - більш небезпечним.

Для створення більш щільного розподілу значень API по 3 байтам використовується швидка некріптографічна 32-бітна хеш-функція MurmurHash3 [3]. Після обчислення хеш-значення виділяються його молодші 24 біта, в результаті чого можливі колізії, однак, як виявилось на практиці їх кількість вкрай мала в порівнянні з кількістю API викликів, тому даною проблемою можна знехтувати. Рівень захисту виступає в якості альфа-каналу.

Альфа-канал представлений значенням від 0 до 1, відповідно від абсолютно прозорі до абсолютно непрозорого. У зв'язку з цим варто зазначити, яким чином перетворюються рівні захисту. У таблиці 1 представлені присутні в роботі рівні захисту.

Таблиця 1

Опис рівнів захисту

Рівень захисту	Числове значення	Короткий опис
NONE	1	Присвоюється Android API, яким не було поставлено у відповідність ніякий дозвіл
UNKNOWN	2	Присвоюється Java і Javaх API викликів
NORMAL	3	Відповідає групі дозволів Android SDK з рівнем захисту normal
SIGNATURE	4	Відповідає групі дозволів AndroidSDK з рівнем захисту signature
DANGEROUS	5	Відповідає групі дозволів AndroidSDK з рівнем захисту dangerous

Перетворення значення рівня захисту в діапазон від 0 до 1 виконується елементарно згідно з формулою (1).

$$PL^{\alpha} = \frac{PL_i}{PL_{dangerous}} \quad (1)$$

де $PL_i = \{1, \dots, 5\}$, $PL_{dangerous} = 5$, а PL^{α} представляє значення PL_i в діапазоні від 0 до 1.

Приклад вищеописаного RGBA-RGB перетворення представлений на рисунку 2.

Тут в якості RGBAtoRGB представлена процедура перетворення RGBA пікселя в RGB з урахуванням чорного фону. Як видно на рисунку 2, RGBA пікселі з однаковими значеннями RGB каналів, але різним значенням альфа-каналу перетворюються в відповідно темніший і світліший RGB пікселі.

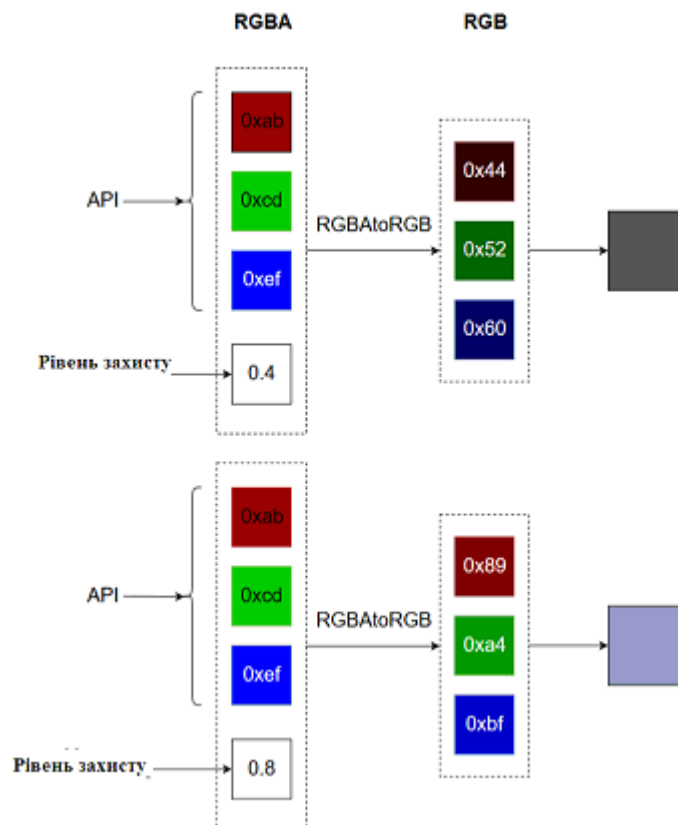


Рисунок 2 - Приклад RGBA-RGB перетворення

Нейронна мережа в якості класифікатора. Останній компонент підходу – це згорткова нейронна мережа.

Входом для нейромережі є певний обсяг, тобто тривимірний тензор розмірності $W \times H \times D$, де W - це ширина зображення, H - висота зображення, а D -

глибина зображення або кількість каналів. У даній роботі $D = 3$ для вхідного зображення, оскільки подаються на вхід зображення мають 3 канали - R, G і B. Навчання нейронної мережі проводиться з учителем, тобто разом з вхідним зображенням X , яке представляє деякий Android-додаток, подається мітка $y = \{0,1\}$, де $y = 1$, якщо додаток шкідливе, і $y = 0$ - якщо легітимне. Навчання будь якої глибокої нейронної мережі, в тому числі і згорткової, проводиться протягом декількох епох, тобто декількох прогонів тренуючих виборок. По завершенню кожної епохи нейромережі подається тестова вибірка, на якій нейронна мережа не навчалася, для оцінки точності.

В результаті навчання згортокої нейронної мережі фактично виходить готовий класифікатор Android-додатків, який для кожного раніше невідомого Android-додатку видасть своє припущення про те, чи є він шкідливим або легітимним.

Висновки. Розроблено підхід до виявлення шкідливого програмного забезпечення для ОС Android на основі уявлення Android-додатків, а також згорткової нейронної мережі, яка була спеціально розроблена для розпізнавання зображень. Послідовність пар API викликів і рівнів захисту Android-додатків перетворюють в RGB зображення, яке потім подається на вхід згорткової нейронної мережі. Навчившись на вибірці з подібних зображень, нейронна мережа виступає в якості класифікатора входять Android-додатків на легітимні і шкідливі.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Mobile Operating System Market Share Worldwide [Електронний ресурс] // StatCounter.com - URL: <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide>
2. Android vs iOS vs Windows: Which suffers most infections? Nokia reveals all [Електронний ресурс] // ZDNet.com. - URL: <https://www.zdnet.com/article/android-vs-ios-vs-windows-which-suffers-most-infections-nokia-reveals-all/>
3. McAfee Mobile Threat Report [Електронний ресурс] // McAfee.com. - URL: <https://www.mcafee.com/cn/resources/reports/rp-mobile-threat-report2024.pdf>.

Received 29.04.2024.

Accepted 30.04.2024.

Development of an approach to the detection of Android software using deep learning methods

The purpose of the work is to develop an approach to detect malicious software for the Android operating system based on statistical analysis using deep learning methods. To achieve the goal, the following tasks were solved: 1. Study of the features of Android

applications and development of a method of submitting the application for further security analysis. 2. Research of deep learning methods and selection of the most appropriate of them. 3. Development of an Android malware detection approach using deep learning techniques. The main idea of the approach is to represent the Android application in the form of an image for further analysis by a convolutional neural network, and in this image the pixels represent a sequence of API call pairs and the level of protection against it, which is derived from the permission required for the API call.

An Android malware detection approach is developed based on the representation of Android applications, as well as a convolutional neural network that has been specially developed for image recognition. A sequence of pairs of API calls and security levels of Android applications is converted into an RGB image, which is then fed to the input of a convolutional neural network. Having trained on a sample of similar images, the neural network acts as a classifier of included Android applications into legitimate and malicious ones.

Островська Катерина Юріївна - к.т.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки і технологій.

Стовпченко Іван Володимирович – старший викладач кафедри Інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки і технологій.

Островський Євген Вікторович – магістр кафедри Інформаційних технологій і систем зі спеціальності «Компютерні науки», Український державний університет науки і технологій.

Ostrovskaya Kateryna - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

Stovpchenko Ivan - senior teacher кафедри Інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки і технологій.

Ostrovsky Yevhen - master of the Department of Information Technologies and Systems, from the specialty "Computer Science", Ukrainian State University of Science and Technology.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ЦИФРОВОЇ КАРТКИ ДОМАШНЬОЇ ТВАРИНИ

Анотація. Для вирішення проблеми комплексного ведення цифрової картки домашньої тварини пропонується розробити відповідну програмну систему. Перед розробкою мають бути обрані технології для реалізації програмної системи, що включає наступний функціонал: електронний паспорт тварини, ведення активності тварини, даних про вакцинації та захист від втрати завдяки пошуку загубленої тварини за географічною позицією у найближчому радіусі. Для розробки мають бути використані програмне середовище PyChart, серверна платформа Django, мови програмування Python, JavaScript, система керування базами даних SQLite.

Ключові слова: програмна система, електронний паспорт, домашні тварини, Django, Python, JavaScript, СКБД, SQLite.

Постановка проблеми. 21 сторіччя – час цифрових технологій, які стрімко розвиваються. Ведення друкованого документообігу – це технологія минулого, і саме час переходити на цифрову документацію. Це зручно і допомагає екології.

У наш час оцифровані копії людських документів вже є нормою (наприклад, державний сервіс Дія). Але, на жаль, такий комплексний підхід відсутній у сфері домашніх тварин. Саме тому було прийнято рішення про створення програмної системи для ведення цифрової картки домашньої тварини.

Перед розробкою програмної системи потрібно визначитися з технологіями, підібрати найкращі варіанти для створення програмної системи, щоб вони відповідали її вимогам. Потрібно зробити аналіз, щоб у майбутньому система могла бути масштабована та доповнена за функціоналом.

Програмна система є багатофункціональною та об'єднує в собі паспорт, медичну картку, ведення активності і захист від втрати з унікальною дошкою оголошень. Ці дані можна використовувати замість паперових, тому що вони захищені і не можуть бути підроблені за допомогою фотомонтажу.

Власник тварини матиме можливість створити паспорт своєї тварини, який буде інтернаціоналізованим незалежно від обраної користувачем мови та матиме захист за допомогою QR коду. Програмна система дозволить вести активність тварини за допомогою вбудованого в нього таймеру – користувачу лише треба буде вказати тип активності та натиснути на кнопку початку чи зупинення. При бажанні користувач зможе переглянути активність за минулі дати. Також сервіс спростить взаємодію власника тварини та ветеринара – користувач повинен буде заповнити інформацію про вакцинацію тварини, та, у разі коректного заповнення, ветеринар зможе підтвердити її за допомогою сканування QR коду. Також унікальною функцією сервісу є дошка оголошень втрачених тварин. Втрата тварини фіксується за місцезнаходженням та відображаються найближчим до нього користувачам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі, Україна має один з вищих показників кількості котів на душу населення в Європі. Згідно останніх зібраних даних, в Україні налічується приблизно 7.63 млн. домашніх котів [1].

За даними World Population Review, Україна займає друге місце у світі за кількістю котів на душу населення, поступаючись лише США [2].

На жаль, трапляються випадки, коли тварина може втекти з дому або загубитися під час прогулянки. За даними Американської Гуманної Асоціації [3], третина домашніх тварин втрачається в якийсь момент свого життя, і близько 10 млн собак і кішок втрачаються в США щороку.

Наведені дані показують актуальність проблеми та необхідність створення системи, яка би не просто спростила взаємодію з документами улюбленців, а й також допомогла захистити тварин у разі втрати.

Для розробки будь-якої програмної системи потрібно обрати правильні технології. Так як система призначена як для власників, так і для ветеринарів, варто розробляти окремий веб-інтерфейс, а не тільки панель для внутрішнього використання ветеринарними закладами.

Має бути розроблена серверна частина, яка дозволить взаємодіяти з даними та виводити їх у веб-частину. Серед сучасних технологій для розробки серверної частини (або бекенду), Django, Node.js, Ruby on Rails, і ASP.NET Core виділяються своєю продуктивністю та гнучкістю. Node.js пропонує асинхронну, подієорієнтовану архітектуру, ідеальну для обробки великої кількості запитів, що робить його вибором для реалізації реактивних веб-додатків. Ruby on Rails використовує принцип «Convention over Configuration», що сприяє швидкій розробці, а ASP.NET Core забезпечує високу продуктивність та легку інтеграцію

з іншими продуктами Microsoft [4]. Натомість, Django надає великий набір готових до використання компонентів і підтримку чистого та ефективного проектування додатків.

Django вважається однією з найкращих систем для написання бекенду, завдяки своїй архітектурі «batteries-included». Це означає, що в стандартному пакеті Django йдуть усі інструменти необхідні для створення веб-додатків, які можуть включати аутентифікацію користувачів, URL-шаблони, інтерфейс адміністраторської панелі та багато інших можливостей, які звільняють розробника від необхідності «винаходити колесо». Django сприяє швидкій розробці, що ідеально підходить для швидкісного впровадження додатків. Також, Django має велику та активну спільноту, сотню доступних модулів, які можуть бути використані для розширення його можливостей. Ця платформа надзвичайно безпечна, що робить її відмінним вибором для проектів, які вимагають надійної обробки даних і транзакцій, з автоматичними механізмами захисту від багатьох видів атак [5].

JavaScript є оптимальним вибором для розробки клієнтської частини веб-додатків у поєднанні з Django через свою універсальність і підтримку асинхронних запитів через AJAX, що забезпечує швидке оновлення контенту без перезавантаження сторінки [6]. Інтеграція з фреймворками на кшталт React, Angular або Vue сприяє створенню динамічних SPA (Single Page Applications), значно покращуючи UX (User Experience). Подібна комбінація характеризується високим рівнем масштабованості та безпеки, завдяки чому це ідеально підходить для створення складних веб-додатків.

Мета дослідження. Метою дослідження є створення програмної системи для ведення цифрової картки домашньої тварини. Система повинна включати у себе такі функції як: ведення активностей тварини, додавання медичних даних, електронний паспорт та дошка оголошень про втрати. Система має складатися з серверної (Backend) та клієнтської (Frontend) частини.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для створення програмної системи потрібно зрозуміти який саме функціонал вона має включати.

Основні можливості системи розподіляються на власників тварини та працівників ветеринарних медичних закладів.

Власники отримують наступний функціонал:

- електронний паспорт тварини з можливістю підтвердження за допомогою QR коду;

- додавання даних активності тварини з розділенням на години, дні та місяці;

- додавання даних про вакцинацію тварин з інформацією про термін придатності, підтвердження своїм підписом;

- дошка оголошень, на якій можуть відображатися найближчі за місцезнаходженням заявки про втрату з можливістю відмітити свою тварину;

- функція прив'язки тегу нашійнику для покращення взаємодії з медичними закладами та додаткового захисту від втрати.

Ветеринарам, у свою чергу, будуть доступні:

- можливість перегляну дані тварини при скануванні QR коду;

- підтвердження даних про вакцинацію за допомогою сканування QR коду з автоматичним додаванням електронного підпису ветеринару;

- доступ до медичних записів тварини.

Отже, коли ми визначились з кінцевим функціоналом програмної системи, можна приступити до UML проєктування.

UML (Уніфікована мова моделювання) — це стандартизована мова моделювання, що складається з інтегрованого набору діаграм, розроблена для допомоги розробникам систем і програмного забезпечення у визначенні, візуалізації, конструюванні та документуванні артефактів програмних систем, а також для бізнес-моделювання та інших непрограмних систем [7]. Взаємодію користувачів із системою показано на UML діаграмі (див. рис. 1).

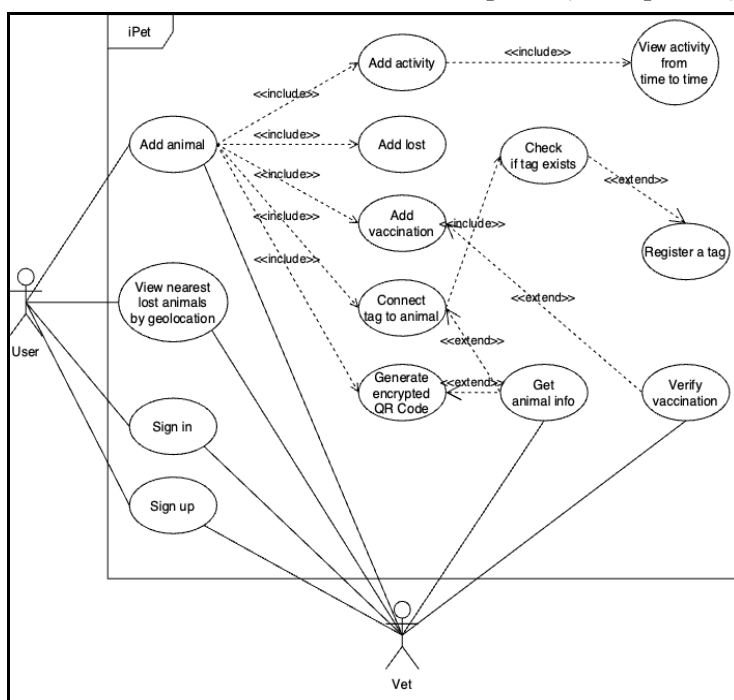


Рисунок 1 – Діаграма прецедентів

На діаграмі вказані відносини між акторами і прецедентами у програмній системі.

Таким чином, за допомогою мови UML та діаграми прецедентів було візуально відображено взаємодію сутностей програмної системи, що загалом надає розуміння певних процесів та дозволяє перейти безпосередньо до розробки програмного забезпечення.

REST API (Representational State Transfer API) – це інтерфейс програмування додатків (API), який відповідає архітектурному стилю REST, що використовується для веб-сервісів. REST API розроблені таким чином, що не мають стану та використовують HTTP-методи (GET, POST, PUT, DELETE і PATCH) для роботи з представленнями ресурсів [8].

Програмна система має включати в себе:

- серверну частину. Завдяки технології REST API надається доступ до бази даних іншим компонентам за допомогою API запитів, що дозволяють отримувати, надсилати, редагувати та видаляти інформацію, авторизуватися завдяки хешованому токену користувача;

- клієнтську частину. Дозволяє користуватися системою з будь-якого сучасного веб-браузера, взаємодіє із сервером за допомогою API запитів – має можливість завантажувати, оновлювати та видаляти дані з сервера та надсилати нові, є відокремленою від серверної частини.

Для розробки серверної частини обрано Python фреймворк Django REST – потужний і гнучкий набір інструментів для створення веб-API. Це відкрита бібліотека, яка надає готовий до використання набір інструментів для побудови API, що включає серіалізацію, яка підтримує джерела даних як з ORM (Object-Relational Mapping), так і без нього, політики аутентифікації, і можливість налаштування аж до рівня даних [9].

Бази даних (БД) є основою переважної більшості застосування сучасних програмних засобів [10] Система використовує базу даних SQLite, структуру якої наведено на ER-діаграмі (див. рис. 2).

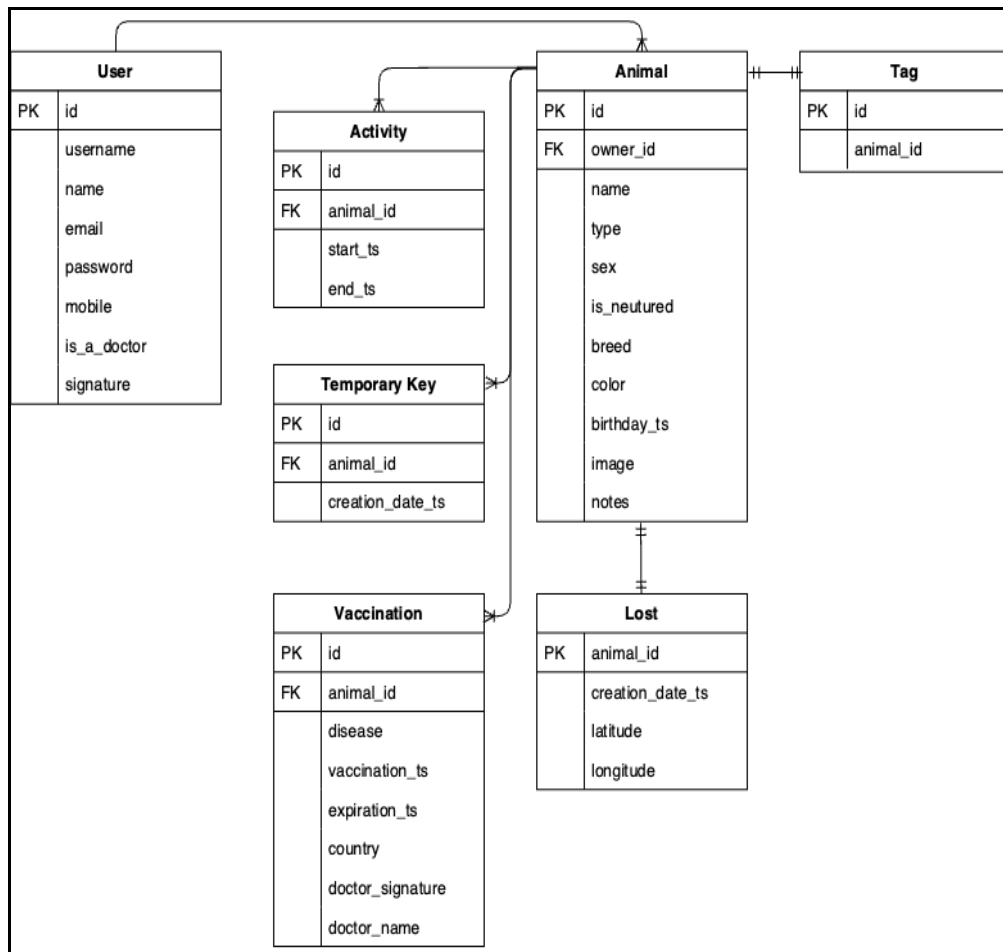


Рисунок 2 – Архітектура Баз Даних

Структура бази даних представлена 7 таблицями:

- User. Таблиця користувачів із персональними даними (ім'я, мобільний та підпис) та інформацією для аутентифікації;
- Animal. Таблиця з даними про тварину. Містить такі дані: ім'я тварини, тип (собака / кіт), стать, чи стерилізована, порода, окрас, день народження, зображення, нотатки;
- Activity. Таблиця, яка містить дані про активність тварини в обмежений проміжок часу;
- Vaccination. Таблиця з даними про вакцинацію тварини. Містить поля: хвороба, дати вакцинації та терміну придатності, країна.
- Lost. Таблиця, де фіксується втрата з вказанням геопозиції власника;
- Temporary Key. Таблиця, яка містить згенерований ключ QR коду, що використовується для підтвердження паспорту тварини;
- Tag. Таблиця, яка містить унікальний тег нашійника тварини.

У якості патерну проєктування було обрано MVC (Model-View-Controller). Model-View-Controller (MVC) — це архітектурний шаблон, що використовується у розробці ПЗ для забезпечення чистого розділення відповідальності між представленням даних користувачу (View), управлінням даними (Model) та бізнес-логікою, яка взаємодіє з вводом користувача для підтримки даних (Controller). Цей шаблон допомагає організувати код таким чином, що відокремлює інтерфейс користувача, дані та логіку, яка контролює взаємодії, одне від одного, тим самим полегшуючи розробникам управління складністю та підвищення підтримуваності [11].

Для розробки клієнтської (Frontend) частини програмної системи у якості мови програмування було обрано JavaScript та фреймворк jQuery, а у якості мови розмітки – HTML та CSS.

Інтерфейс (з англ. interface - взаємодія) - сукупність засобів, що забезпечують взаємодію пристроїв обчислювальної системи та програм, а також їх взаємодію з людиною. Інтерфейс користувача - комплекс програмних і апаратних засобів, що забезпечують взаємодію користувача з системою [12]. Він повинен відповідати сучасним нормам UI/UX, щоб бути зручним для кінцевого користувача.

Для розгортання використовується вебсервер Apache. Клієнтська частина взаємодіє з серверною (Django REST Framework) завдяки REST API. Вона зберігає авторизаційний токен, завдяки якому може отримати доступ до запитів.

При проєктуванні системи було створено окремі директорії для HTML сторінок, JavaScript коду та CSS стилів, щоб зробити роботу з проєктом зручніше.

Модуль Аутентифікації клієнтської частини має компоненти Реєстрації та Авторизації, а Користувача – Моїх Тварин (My Animals), Втрачених Тварин (Lost Animals), Вакцинації (Vaccination) та Налаштувань (Settings). Компоненти забезпечують надання даних та відображення їх користувачу. Вони мають схожу структуру, де <component_name>.html відповідає за відображення сторінки, <component_name>.css – за стилі, а <component_name>.js – за взаємодію з даними.

Висновки. Результатом дослідження є створена програмна системи для ведення цифрової картки домашньої тварини. Було чітко прописано функціонал, розроблено базу даних та структуру відношень між користувачами, обрано технології для розробки як серверної, так і веб-частини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Pet Ownership by Country (Dogs and Cats). Mappr. URL: <https://www.mappr.co/thematic-maps/world-pet-ownership/>.
2. Pet Ownership Statistics by Country 2024. World Population Review. URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/pet-ownership-statistics-by-country>.
3. US Missing Pet Epidemic and Euthanasia Statistics: Facts/Figures. Peeva. URL: <https://peeva.co/missing-pet-epidemic-facts-and-figures>.
4. Comparing Backend Frameworks: Node.js, Django, Ruby on Rails, and Dot.Net. habitualCS. URL: <https://habitualcs.io/exploring-different-backend-frameworks-node-js-django-ruby-on-rails-and-dot-net-etc/>.
5. Django – Overview. URL: <https://www.djangoproject.com/start/overview/>
6. Souza D. Using React with Django to create an app: Tutorial. LogRocket. URL: <https://blog.logrocket.com/using-react-django-create-app-tutorial/>.
7. Fowler M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language (3rd Edition) [Text] / Martin Fowler. – New York : Addison-Wesley, 2004. – 208 p.
8. Fielding R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [Text] / Roy Thomas Fielding. – Irvine : University of California, 2000. – 180 p.
9. Gastón C. Hillar. Django RESTful Web Services: The easiest way to build Python RESTful APIs and web services with Django [Text] / Gastón C. Hillar. – Birmingham : Packt Publishing, 2018. – 306 p.
10. Mazurova O., Naboka A., Shirokopetleva M. Research of acid transaction implementation methods for distributed databases using replication technology // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості : науковий журнал. – 2021. – № 2(16). – С. 19–31.
11. Fowler, M. Patterns of Enterprise Application Architecture [Text] / Martin Fowler. – Boston : Addison-Wesley, 2002. – 533 p.
12. Ареф'єв О. О. Інтерфейс користувача: особливості розробки інтерфейсу користувача для ігрових застосунків // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті: зб. матеріалів 25-го Міжнародного молодіжного форуму. Т. 6. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – С. 3.

REFERENCES

1. Pet Ownership by Country (Dogs and Cats). Mappr. URL: <https://www.mappr.co/thematic-maps/world-pet-ownership/>.

2. Pet Ownership Statistics by Country 2024. World Population Review. URL: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/pet-ownership-statistics-by-country>.
3. US Missing Pet Epidemic and Euthanasia Statistics: Facts/Figures. Peeva. URL: <https://peeva.co/missing-pet-epidemic-facts-and-figures>.
4. Comparing Backend Frameworks: Node.js, Django, Ruby on Rails, and Dot.Net. habitualCS. URL: <https://habitualcs.io/exploring-different-backend-frameworks-node-js-django-ruby-on-rails-and-dot-net-etc/>.
5. Django – Overview. URL: <https://www.djangoproject.com/start/overview/>
6. Souza D. Using React with Django to create an app: Tutorial. LogRocket. URL: <https://blog.logrocket.com/using-react-django-create-app-tutorial/>.
7. Fowler M. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language (3rd Edition) [Text] / Martin Fowler. – New York : Addison-Wesley, 2004. – 208 p.
8. Fielding R. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [Text] / Roy Thomas Fielding. – Irvine : University of California, 2000. – 180 p.
9. Gastón C. Hillar. Django RESTful Web Services: The easiest way to build Python RESTful APIs and web services with Django [Text] / Gastón C. Hillar. – Birmingham : Packt Publishing, 2018. – 306 p.
10. Mazurova O., Naboka A., Shirokopetleva M. Research of acid transaction implementation methods for distributed databases using replication technology // Suchasnyy stan naukovykh doslidzhen ta tekhnolohiy v promyslovosti : naukovyy zhurnal. – 2021. – № 2(16). – P. 19–31.
11. Fowler, M. Patterns of Enterprise Application Architecture [Text] / Martin Fowler. – Boston : Addison-Wesley, 2002. – 533 p.
12. Arefyev O.O. Interfeys korystuvacha: osoblyvosti rozrobky interfeysu korystuvacha dlya ihrovykh zastosunkiv // Radioelektronika ta molod u KhKhI stolitti: zb. materialiv 25-ho Mizhnarodnoho molodizhnoho forumu. Vol. 6. – Kharkiv: KhNURE, 2021. – P. 3.

Received 29.04.2024.

Accepted 02.05.2024.

Development of the Software System for Managing a Digital Pet ID

Recent Research and Publications Analysis: The shift towards digital documentation, such as Ukraine's «Diia» for human records, has not yet been fully embraced in pet care, creating a significant service gap. Ukraine, with a high number of household pets, especially approximately 7.63 million cats, highlights the need for a comprehensive digi-

tal pet management system. Given the frequent cases of pets getting lost—with low recovery rates—a robust digital system is essential for improving these figures and enhancing pet safety.

When designing software, it is important to choose the right technologies for both the web interface and the backend. Django is recommended for the backend because of its «batteries-included» architecture, which provides a comprehensive set of ready-to-use tools that facilitate rapid development and ensure a high level of security. For the interface, it is recommended to use JavaScript integrated with frameworks such as React, Angular or Vue to create dynamic applications that improve the user experience with asynchronous requests, allowing the content of the page to be updated without reloading the page. This combination not only provides scalability and security, but also effectively meets the complex needs of web applications.

Purpose of the Study. This study aims to develop a software system that facilitates the management of digital pet IDs, which will integrate medical records, vaccination histories, and detailed activity logs. This integration aims to streamline pet care, making it more efficient and significantly more convenient for pet owners.

Main Material Presentation. The proposed system's architecture will include:

- backend. Utilizing Django REST Framework for creating scalable, secure web APIs that handle data operations efficiently;
- frontend. Employing JavaScript, HTML, and CSS to provide a responsive and interactive user experience.

Key Features:

- digital passports for pets, verifiable via QR codes;
- detailed activity logs that track and display pet movements and behaviors;
- comprehensive vaccination records accessible by both pet owners and veterinarians;
- a lost pet bulletin board that uses geographical data to notify users of nearby lost or found pets.

Conclusions. Technologies have been chosen and a software system has been developed for effective management of digital pet IDs, integrating key functions for comprehensive data management of pets. It utilizes modern technologies to ensure reliable data security, high scalability, and enhanced user interaction, making it a key achievement in the management of digital pet IDs.

Keywords: software system, electronic passport, pets, Django, Python, JavaScript, DBMS, SQLite.

Ворочек Ольга Григорівна - к.т.н., доцент кафедри ПІ харківського Національного Університету Радіoeлектроніки.

Соловей Ілля Владиславович - здобувач вищої освіти факультету комп'ютерних наук Харківського Національного Університету Радіoeлектроніки.

Vorochek Olga Hryhorivna - Associate Professor of the Department of Software Engineering, Candidate of Science (Technology) at Kharkiv National University of Radio Electronics.

Solovei Illia Vladyslavovych - higher education seeker at the Faculty of Computer Science of Kharkiv National University of Radio Electronics.

СПРОЩЕНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ НАВАНТАЖЕННЯ В ЗАМКНЕНІЙ МЕРЕЖІ КОМУТАЦІЇ ПАКЕТІВ

Анотація. Розвинуто підхід до спрощеного імітаційного моделювання навантаження мережі комутації пакетів. В основі імітаційного представлення мережних процесів спрощена математична модель мережі комутації пакетів, яка заснована на дискретизованому опису станів завантаження вузлів мережі і відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням. Зміни стану заповнення вузла моделюється як процес розмноження і загибелі і в повній моделі навантаження враховує два фактори змін: обмін вузла навантаженням з користувачами мережі і проходження через нього потоку транзитного навантаження. Для вивчення штучно виділена «частина процесу функціонування мережі» – запропоновано підхід до моделювання транзитного навантаження у замкненій за навантаженням мережі. Підхід дозволяє здійснювати суттєві спрощення і забезпечує нівелювання негативного впливу спрощень на «замкненість навантаження» (забезпечує правило незмінної кількості навантаження в замкненій мережі). Розроблена імітаційна модель, по перше, створює підґрунтя до вдосконалення повної моделі, а по друге, зручна для відпрацювання алгоритмів маршрутизації при аналізі їх з точки зору показників здатності «впливати» на вантаження у мережі. Отримані результати узагальнені, але увага акцентована на прикладі супутникових мережах комутації пакетів.

Ключові слова: навантаження мережі комутації пакетів, вузол мережі зв'язку, потоки навантаження, потік подій, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми. Сучасний світ покривають мережі зв'язку з технікою комутації пакетів: вони розміщені у середині технічних об'єктів, реалізованих в єдиному конструктивному виконанні; забезпечують комунікації множини технічних пристроїв в невеликих просторових об'ємах; вони розповсюджені на відстані в декілька кілометрів, у сотні і тисячі кілометрів, огортають Землю, будучи розташовані по її поверхні і на навколоземних орбітах [1-4]. Одна з задач забезпечення ефективного функціонування мереж комутації пакетів – керування її навантаженням. Частина цієї задачі пов'язана з керуванням проходженням навантаження через вузол мережі (з керуванням порядком

обробки навантаження вузлом мережі), яке може враховувати мережний рівень пріоритету навантаження, локальний рівень його пріоритету щодо порядку обробки у вузлі (який вузол може адаптивно змінювати) [5,6]. Друга частина цієї задачі пов'язана з керуванням даних, що передаються у мережі) [7,8].

В цій роботі зосередимо увагу на задачі маршрутизації даних. Ця задача вирішується вже багато десятиків років, спирається на класичні методи і алгоритми маршрутизації [9], розвивається з врахуванням рівнів пріоритетності навантаження [10,11], забезпечує доповнення «простих» алгоритмів (можна говорити – класичних) застосуванням алгоритмів штучного інтелекту [12-14]. На сьогодні багато мереж зв'язку з технікою комутації пакетів можна розглядати як великі, розподілені системи зі складними процесами функціонування. Зараз (і, здається, на далі) ефективне і, головне, високо надійне функціонування великих складних систем можна уявляти собі на основі множини «простих» протоколів функціонування, які складуть остов функціонування таких систем. Штучний інтелект займе в таких системах своє місце, стане відігравати вагому роль в задачах управління процесами функціонування, але буде ефективним доповненням (вагомою частиною), що забезпечує «тонке налаштування» системи на «індивідуальні» особливості кожного з її елементів і до ситуацій, які в ній створюються. Застосування алгоритмів штучного інтелекту дозволить підвищити ефективність «простих» алгоритмів, вдосконалив застосування «звичайних» протоколів. Але розвиток підходів, методів, алгоритмів, які лежать в основі «простого протокольного» управління мережними процесами залишається актуальним.

Сучасне керування процесами маршрутизації даних здебільшого засновано на застосуванні маршрутних таблиць і алгоритмів вибору шляху найменшої вартості, на основі яких ці таблиці побудовані. Таким чином, в реалізації задачі маршрутизації можна побачити дві складові [7-9]. Перша складова – це застосування алгоритмів вибору шляху найменшої вартості, які реалізуються при визначеному за прийнятими правилами стану мережі (зокрема, при визначених вартостях елементарних ліній зв'язку, які поєднують суміжні вузли мережі). Друга складова керування маршрутизацією даних у мережі полягає у реалізації правил представлення спрощеного дискретизованого визначення стану мережі у числових значеннях, які виражають опосередковану оцінку тих факторів, які потребують зміни впливом керування (зокрема – правил призначення вартостей елементарним лініям зв'язку). Цей комплекс правил часто може передбачати його адаптацію до поточного стану мережі. У глибинній, фунда-

ментальній основі керування навантаженням мережі лежить саме такий комплекс правил. Серед методів управління навантаженням у мережі комутації пакетів може бути виділення груп вузлів, для яких при побудові ними їх маршрутних таблиць правила призначення вартостей елементарних ліній зв'язку відрізняються від правил, які застосовують для цього інші вузли [6,15,16]. Також існують і інші підходи.

Враховуючи, відзначену вище необхідність здійснювати розвиток «простих» алгоритмів керування мережними процесами, розвивати їх як базову основну частину керування навантаженням мережі, повернемося до розгляду невивчених аспектів маршрутизації в найпростішому варіанті представлення в мережі комутації пакетів. Розглянемо однорангову мережу навантаження без розділення навантаження за класами пріоритетів. Всі вузли цієї мережі, вирішуючи задачу маршрутизації, «бачать» єдину мережу (використовують при маршрутизації одні й ті самі правила призначення вартості). Відзначимо, що правила призначення вартостей елементарним лініям зв'язку мають спільні риса, але й завжди налаштовані на тип конкретної мережі. Тому, розглядаючи узагальнені, глобальні аспекти, все ж таки виділимо клас мереж, яким приділяється увага. Це мережі, розповсюджені великою територією, представлені вузлами, які вирішують задачу передачі даних і є одночасно маршрутизаторами. У загальному випадку вузли рухомі, довжина кожного елементарного відрізка шляху у мережі (довжина лінії зв'язку між суміжними вузлами) – динамічна величина. Також прийнемо, що передача між суміжними вузлами дуплексна, тому між парою вузлів фактично існує дві лінії зв'язку, за якими передача даних ведеться у протилежному напрямку (рис. 1а). І в цьому випадку кожній з протилежно спрямованих ліній може бути призначена своя вартість. Типовим представником такої мережі є супутникові мережі комутації пакетів, в яких космічний апарат (він являє собою вузол мережі), встановлює зв'язки з декількома космічними апаратами в його оточенні (зокрема, як показано на рис. 1б, такі: з декількома космічними апаратами в одному з ним угрупованні, які розташовані на одній з ним номінальній орбіті попереду і позаду нього; в сусідніх орбітальних площинах ліворуч і праворуч від його орбітальної площини; з космічними апаратами більш високих і більш низьких угруповань) [8,17,18]. Мережа наземна і на декількох орбітальних угрупованнях в космосі показана на рис. 2в.

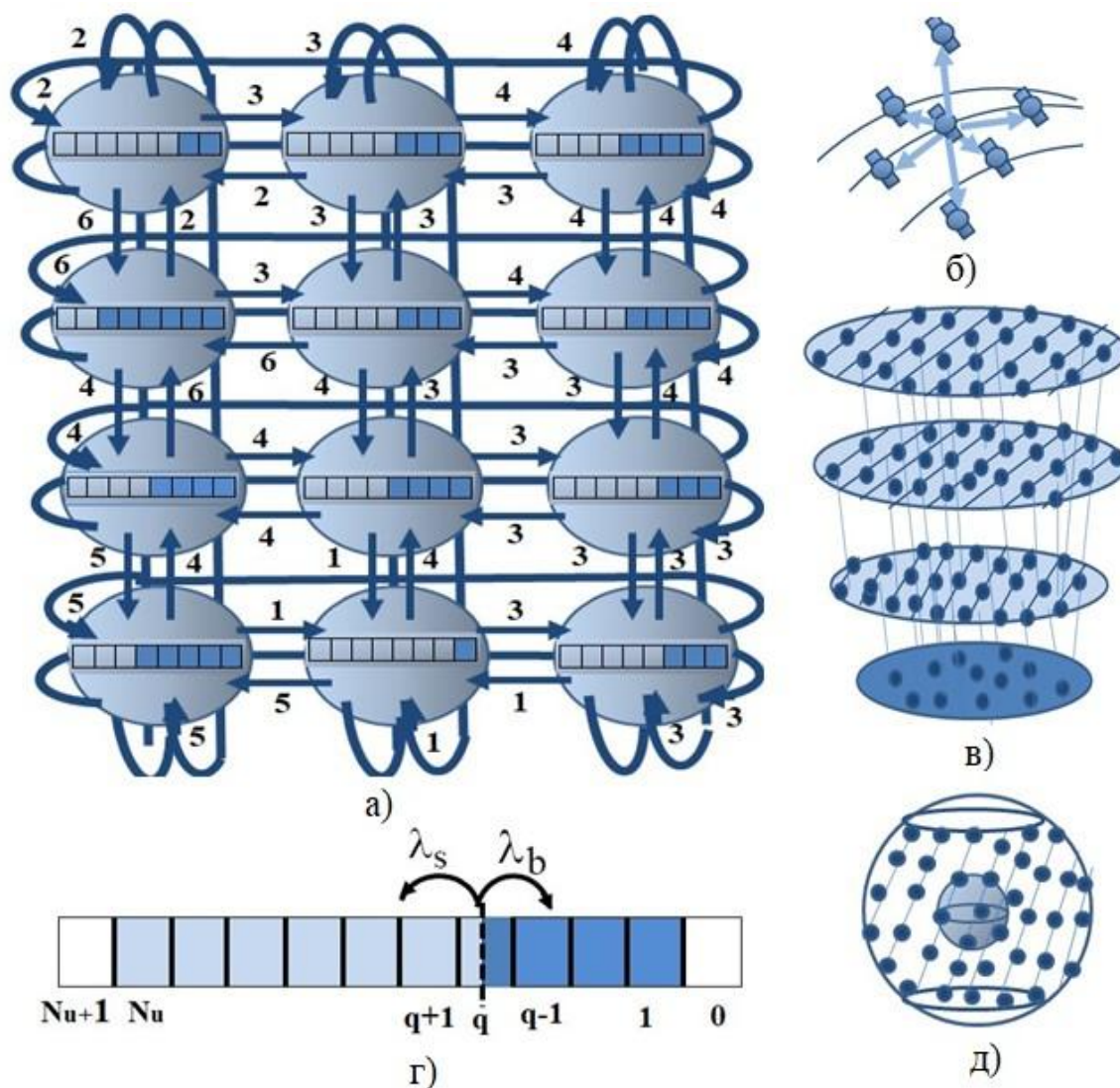


Рисунок 1 – До представлення мережі комутації пакетів (на прикладі супутникової мережі): навантаження у вузлах топологічно замкненої мережі (а); побудова мережі на основі зв'язків між космічними апаратами (б); схематичне представлення мережі на основі наземної складової і декількох різновисоких орбітальних угруповань космічної складової (в); схематичне представлення стану заповнення накопичувача вузла мереж (г); супутникова мережа на основі угруповання космічних апаратів на одній висоті (д)

Багато підходів до управління навантаженням у мережі засновані на формуванні формули вартості елементарної лінії зв'язку. В багатьох випадках саме ці формули являються важелем керування навантаженням. Здебільшого ці формули засновані на врахуванні часу, який інформація витрачає на рух між відправником і одержувачем. При цьому (напрямую або опосередковано) враховують фактори які впливають на цей час. Цими факторами є відстань між вузла-

ми та час, який блок інформації витрачає на проходження вузла мережі (цей час складається з часу проходження пустого вузла і часу затримки у очікуванні відправлення з вузла). Також в формулі вартості лінії можуть бути складові, які введені на основі врахування визначених перевантажених груп вузлів, або враховують розділення мережі за явно виділені частини (наприклад, такими частинами для супутникових мереж комутації пакетів можуть бути різновисокі угруповання – різновисокі сегменти мережі), та інші.

У формулі вартості елементарної лінії можуть бути враховані фактори, які не стосуються прямо часу, що витрачається на передачу. Такими факторами можуть бути рівень безпеки, рівень завадостійкості, тощо. Але найбільш вагомими в цілому залишаються динамічна відстань між вузлами мережі і динамічна характеристика часу проходження вузла мережі.

На сьогодні залишається актуальним питання визначення простих (базових) правил побудови формули, що враховує названі вище фактори. Розробка цих правил пов'язана з підходом до дискретизації величин, на яких будується формула, та визначення підходу до числового еквівалентного врахування поточних значень цих величин. Кінцевій кількості дискретних станів елементів системи, визначеній в результаті дискретизації, відповідає велика множина станів самої системи, які створюються на множини комбінацій станів елементів [8]. Керування, прив'язане до правил врахування поточних станів елементів, має ефективно впливати на оптимізацію процесів функціонування системи. Вирішення цієї задачі потребує моделей високого рівня спрощення, які зводять опис системи до застосування дискретизованих характеристик, яким відповідає множина її дискретизованих станів. Сфера застосування таких моделей охоплює як безпосередньо задачі управління, так і задачі проектного і дослідницького аналізу. В задачах проектного аналізу ці моделі безпосередньо використовуються або на початкових етапах, або входять як складова до моделей «комбінованої точності» [18]. Розвитку моделей навантаження мережі комутації описаного вище рівню спрощення присвячена ця робота. Зокрема, вдосконалюється модель, представлена в роботах [8,18]. З двох названих найважливіших складових в управлінні потоками навантаження в мережі приділимо увагу тій, що пов'язана з часом проходження інформацією через вузли мережі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні моделі, які описують навантаження мережі комутації пакетів можна розділити на два великих класи [9,18]. В моделях першого класу (моделях «високої точності») моделювання здійснюється «з точністю до блоку даних» (пакету): моделюється

входження кожного пакету у мережу, його розмір, адресація і поточний шлях. Моделі другого класу в базовій основі мають запропоноване Л. Клейнроком спрощення про зміну розміру пакету в кожному вузлі на його шляху (за правилами, визначеними відповідною статистичною моделлю) [9]. При такому спрощенні можливий перехід до моделювання потоків навантаження (перехід до поточних моделей). Поточних моделей багато, їх також можна класифікувати, вони активно розвиваються [11].

В багатьох випадках можна говорити, що в поточній моделі реалізується «наскрізне представлення» потоків через мережу та враховуються їх суперпозиції. Але можливий підхід максимального рівня спрощення, коли у кожному j -у вузлі в простіший спосіб моделюються дві складових навантаження: потоки обміну навантаженням з користувачами та потоки обміну транзитним навантаженням. Вводиться припущення, що всі потоки пуассонівські. Для кожного з вузлів j можна говорити про потоки вхідного і вихідного навантаження взаємодії з користувачами (з параметрами Λ_{cbj} і Λ_{csj} відповідно) і про потоки вхідного і вихідного транзитного навантаження (з параметрами Λ_{tbj} і Λ_{tsj} відповідно).

При моделюванні потоків навантаження взаємодії з користувачами максимально спрощений підхід не враховує проходження цього навантаження через мережу [8]. Вважається, що все, що увійшло до мережі, виходить з неї. Враховується розділення території, від якої іде навантаження користувачів, на фрагменти (тут будемо враховувати тільки земних користувачів, тобто наземних і авіаційних, які знаходяться на якійсь території або, відповідно, над нею). Від кожного фрагменту (в багатьох випадках підходить визначення «стілнику») надходить відповідне навантаження з інтенсивністю Λ_{bk} . Задані незмінні на час моделювання ймовірності p_{kl} адресації навантаження від фрагменту території k до фрагменту території l . Режим функціонування мережі – установлений. Тому інтенсивність сумарного потоку, що увійшла до мережі з k -о фрагменту території, надає до сумарного потоку навантаження до l -о фрагменту території потік з параметром $p_{kl} \Lambda_{bk}$ (тобто параметр потоку вихідного навантаження на l -й території Λ_{ls} визначається формулою $\Lambda_{ls} = \sum_{k=1}^{N_g} p_{kl} \Lambda_{bk}$, де N_g –

кількість фрагментів території). В залежності від того, на якій території (а для супутникових мереж – над якою територією) знаходиться вузол (група вузлів), моделюється вхідне навантаження з цієї території до цього вузла (вузлів). Мо-

делювання транзитного навантаження може бути засновано на прийнятті припущення, що всі вузли настільки заповнені, що з вузла постійно виходить навантаження з параметром $\Lambda_b = \text{const}$, тобто $\Lambda_{tsj} = \Lambda_b$. Враховуючи розподіл транзитного вихідного навантаження на напрямки, для кожного j -о вузла знаходиться транзитне вхідне навантаження Λ_{tbj} .

При описаному підході до моделювання навантаження з виділенням навантаження взаємодії з користувачами і транзитного навантаження маємо дві частини, дві складових моделі, які доволі відокремлені одна від одної (і можуть на початку аналізу розглядатися окремо одна від одної, забезпечуючи можливість «розшарування задачі»). Але ці дві частини при їх спільному врахуванні при моделюванні мережі тісно пов'язані між собою через стани завантаження вузлів, які враховуються при моделюванні розподілу транзитного навантаження [8]. В даній роботі буде розглянута тільки складова, що стосується моделювання транзитного навантаження. Зокрема, приділяється увага усуненню проблеми, яка виникає при моделюванні транзитного навантаження на основі описаного вище підходу.

Проблема в тому, що при невеликому заповненні мережі на деяких інтервалах часу вузол буває пустим, або заповненим настільки мало, що вихід з нього навантаження відбувається з параметром $\Lambda_{tsj} < \Lambda_b$. Тоді описаний підхід до моделювання призводить до «утікання» навантаження з мережі (до втрати «модельного» навантаження), викликає в моделі порушення правила збереження навантаження, яке має бути на рівні кожного з вузлів (скільки навантаження увійшло до вузла, стільки й має вийти, якщо модель не відтворює втрат, які виникають з технічних проблем функціонування мережі). Цю неточність моделювання можна більш явно бачити, якщо у повній моделі мережі «виділена частина», що представлена тільки рухом транзитного навантаження у замкненій мережі (відбувається зменшення повного навантаження в мережі внаслідок неточності моделі). Це відома проблема відомого підходу до моделювання транзитного навантаження. Вирішення цієї проблеми пропонується з врахуванням підходу до виразу параметрів потоків вхідного і вихідного навантаження через стан вузлів мережі, описаний в роботах [8,18] та інших.

Мета дослідження. Розвиток максимально спрощених моделей мереж комутації пакетів, які засновані на дискретизованому опису станів завантаження вузлів мережі і відповідають представленню стану мережі в задачах управління її навантаженням в процесі функціонування. Задача вирішується в

узагальненій постановці, але увага акцентована на випадку використанні цієї моделі при створенні і експлуатації супутникової мережі комутації пакетів.

Викладення основного матеріалу.

1. Постановка задачі. Розглядається мережа, в якій n вузлів (тут вважаємо, що вузли однотипні, але задача може бути розвинута і для наявності у мережі груп вузлів, для яких низка характеристик буде відмінною. Відстані між вузлами мережі (тобто, час на передачу інформації між вузлами) тут враховувати не будемо. Станемо враховувати тільки навантаження у вузлах мережі. Візьмемо за основу моделювання мережі підхід, заснований на виділенні дискретних станів заповнення накопичувача вузла мережі і трактування їх як станів, в якому знаходиться вузол [8]. Обсяг накопичувача кожного j -го вузла розділений на N_u рівні. Номер рівню q_j , що заповнюється в накопичувачі j -го вузла, назовемо станом вузла. Таким чином, кількісне значення q (q_j для j -го вузла) може бути в діапазоні від 0 (повністю пустий вузол), до $(N_u + 1)$ (вузол у стані блокування), таким чином $q = \overline{0, (N_u + 1)}$. Згідно [8] вважаємо, що моделюється зміна стану вузла, яка відбувається як процес розмноження і загибелі (перехід зі стану q можливий тільки до сусідніх станів $(q - 1)$ і $(q + 1)$ в межах діапазону значень $q = \overline{0, (N_u + 1)}$, інтервал часу між переходами між сусідніми станами має експоненціальний закон розподілу з параметром λ). Схематично стан вузла і схема переходів у сусідні стани його завантаження показана на рис. 2г. Тобто послідовність моментів часу зміни станів j -го вузла будемо розглядати як пуассонівський потік подій з параметром λ_j . Цей пуассонівський потік можна розкласти на чотири складові (чотири пуассонівських потоки подій): перші дві – це потоки змін завантаження вузла у більший і менший бік, що викликані взаємодією з користувачами (параметри цих потоків λ_{cbj} і λ_{csj} відповідно); другі два – це потоки змін завантаження вузла у більший і менший бік, спричинені рухом через вузол транзитного навантаження (параметри цих потоків λ_{tbj} і λ_{tsj} відповідно).

Параметри названих потоків ($\lambda_j, \lambda_{cbj}, \lambda_{csj}, \lambda_{tbj}, \lambda_{tsj}$) будемо виражати в кількості змін станів заповнення накопичувача вузла на одиницю часу. Можна, підібравши правильний еквівалент, виразити параметри навантаження, що входить і виходить з вузла, в кількостях змін на одиницю часу числа заповнених рівнів накопичувача вузла, яке спричинено потоками цього навантаження. Зокрема – можна виразити у кількості змін стану заповнення накопичувача

(кількості змін стану заповнення вузла) на одинцю часу параметри Λ_{cbj} і Λ_{csj} , яке відповідно надходить і виходить з вузла внаслідок взаємодії з користувачами, і параметри Λ_{tbj} і Λ_{tsj} транзитного навантаження, яке відповідно входить і виходить з вузла. В цьому випадку параметри Λ_{cubj} , Λ_{csj} , Λ_{tbj} , Λ_{tsj} будуть аналогами параметрів λ_{cbj} , λ_{csj} , λ_{tbj} , λ_{tsj} . Як було запропоновано вище, станемо розглядати одну складову процесу зміни стану завантаження вузла мережі – зміни стану вузла, спричинені транзитним навантаженням (тобто, пуассонівські потоки з параметрами λ_{tbj} , λ_{tsj}). Вважатиме, що при значеннях стану завантаження вузла $q = \overline{q_m, (N_u + 1)}$ транзитне навантаження виходить з j -го вузла з незмінною максимальною інтенсивністю (параметр потоку навантаження, яке виходить з вузла, $\lambda_{tsj} = \lambda_b$, $\lambda_b = \text{const}$). Якщо стан вузла $q < q_m$ (підхід до визначення q_m буде сформульований далі), то значення параметра вихідного навантаження λ_{tsj} буде у межах $0 \leq \lambda_{tsj} < \lambda_b$.

Прийнято, що правила призначення вартості елементарної лінії зв'язку враховують навантаження вузла, до якого вони ведуть, зокрема – дорівнюють кількості заповнених рівнів накопичувача (можуть також розраховуватися як пропорційна величина, прив'язана до цієї кількості за введеною формулою). Зв'язок дуплексний, і лінії зв'язку між суміжними вузлами, протилежно спрямовані, у загальному випадку мають різні вартості (рис. 2а). Маршрутизація таблична. В основі розрахунку маршрутних таблиць алгоритм вибору шляху най меншої вартості.

Будемо вважати, що мережа замкнена з точки зору відсутності обміну навантаженням з користувачами (навантаження не входить до мережі і не виходить з неї). Станемо розглядати окремий випадок мережі, яка топологічно замкнена (рис. 1а). Вибір для розгляду топологічно замкненої мережі на глобальний результат не вплине. Вибір цього окремого випадку продиктований тим, що топологічно замкнена мережа (тільки у іншому просторовому розташуванні її форми) зустрічається, наприклад, побудованою на угрупованні супутників на колових орбітах одної висоти (рис. 1д). В такій мережі наявні замкнені «кільця з ланцюжків вузлів» – пов'язані міжсупутниковими зв'язками космічні апарати на одній орбіті, а також встановлюються зв'язки між близькими вузлами в сусідніх ланцюжках вузлів – між космічними апаратами в сусідніх орбітальних площинах.

2.°Запропонований підхід до моделювання.

Моделювання події в системі. Згідно прийнятої математичної моделі мережі комутації пакетів при моделюванні відтворюються $2N$ потоків подій: для кожного j -го вузла з N вузлів мережі моделюється потік подій, які є послідовністю моментів часу переходів до сусідніх станів більшого заповнення його накопичувача, а також потік подій, що є послідовністю моментів часу переходів до сусідніх станів менших станів його заповнення. Ці потоки подій зв'язані між собою через параметри їх потоків, які визначаються на поточний момент часу через стан системи. Опис моделювання елементарної події приведено нижче.

Для кожного j -го вузла n -й момент зміни його стану у бік збільшення (момент t_{tbnj}), генерований після чергового відбуття цієї події на основі формули

$$t_{tbnj} = t_{tb(n-1)j} + \tau_{tbnj}, \quad (1)$$

а m -й момент зміни стану j -го вузла у бік зменшення (момент t_{tsmj}) генерований на основі формули

$$t_{tsmj} = t_{ts(m-1)j} + \tau_{tsmj}, \quad (2)$$

де $t_{tb(n-1)j}$ і $t_{ts(m-1)j}$ – попередні моменти відбуття відповідних подій, а τ_{tbnj} і τ_{tsmj} – генеровані тривалості інтервалів часу між відбуттям n -ї і $(n-1)$ -ї подій або m -ї і $(m-1)$ -ї подій відповідно. Тривалості інтервалів часу τ_{tbnj} і τ_{tsmj} генеруються як величини з експоненціальним законом розподілу з параметрами λ_{tbj} , λ_{tsj} відповідно. Далі поточний час t змінюється з невеликим кроком Δt (величина Δt не менш ніж на декілька порядків менша ніж величини τ_{tbnj} і τ_{tsmj}). Виконання умови $t \geq t_{tbnj}$ одзначає відбуття n -ї події, яка є збільшенням рівню завантаження вузла на одиницю (переходом зі стану q_j до стану $(q_j + 1)$), а виконання умови $t \geq t_{tsmj}$ означає відбуття події, яка є зменшенням рівню завантаження вузла на одиницю (переходом зі стану q_j до стану $(q_j - 1)$).

Моделювання реакції на подію в системі. Після відбуття будь якої з описаних подій моделюється «реакція» системи на подію, яка описана далі. Лінії, яка веде до вузла, що змінив стан, призначається нова відповідна вартість за правилом призначення вартостей лініям зв'язку. Після зміни вартості хоч одної

лінії у мережі здійснюється розрахунок нових значень маршрутних таблиць. Після розрахунку нових значень маршрутних таблиць для кожного вузла визначаються поточні значення параметрів потоків переходів стану завантаження вузла у більший, або менший бік – параметрів потоків λ_{tbj} , λ_{tsj} відповідно. І саме тут застосовуємо підхід, якій надасть можливість уникнути «утікання навантаження».

Як зазначалося, при високому рівні заповнення мережі (випадки пустого вузла, або частково заповненого першого рівня накопичувача зустрічаються з ймовірністю майже наближеною до нуля) можна вважати, що вузол віддає навантаження з незмінною максимальною інтенсивністю λ_b ($\lambda_{tsj} = \lambda_b$, де значення λ_b також виражено в кількості змін рівнів накопичувача на одиницю часу). Для забезпечення замкненості навантаження в моделі при різних рівнях завантаження мережі можна використати дуже грубий підхід, який для низки ситуацій є прийнятним і дасть просте вирішення проблеми. Вважатиме, що в мережі, замкненій з точки зору навантаження, на кожний момент розгляду сумарно виходить стільки навантаження, скільки сумарно входить. Так як розглядаються потоки транзитного навантаження, на будь який момент часу має

бути рівність $\sum_{j=1}^N \lambda_{tbj} = \sum_{j=1}^N \lambda_{tsj}$. При моделюванні забезпечимо це так.

На момент часу t (який вважається моментом відбуття події) знаходиться сума параметрів потоків S_{tb} , значення яких відповідали входженню навантаження у вузли мережі до моменту t (можна для визначеності записати – в момент $(t - \Delta t)$)

$$S_{tb} = \sum_{j=1}^N \lambda_{tbj}, \quad (3)$$

Знаходиться сума параметрів потоків максимального виходу з заповненого вузла $S_{t \max s}$

$$S_{t \max s} = N \lambda_b. \quad (4)$$

Визначається надлишковий вихід R як різниця значень S_{tb} і $S_{t \max s}$

$$R = S_{tb} - S_{t \max s}. \quad (5)$$

Ця різниця має бути розділена на кількість N_e вузлів ($N_e \leq N$), з яких виходить потік навантаження з параметром, меншим за λ_b . Вузли, які належать до названої групи з N_e вузлів, легко знайти, коли параметр потоку виражений

у кількості змін рівнів заповнення накопичувача. З j -го вузла буде виходити потік навантаження, менший за максимальний, якщо кількість q_j заповнених рівнів його накопичувача менша, ніж виходить з вузла у одиницю часу, тобто менша за значення λ_b ($q_j < \lambda_b$). Досить грубо будемо вважати, що корегування надлишкового виходу навантаження буде однаковим для всіх недовантажених вузлів. Для корегування будемо вважати, що з i -го недовантаженого вузла виходить навантаження з параметром λ_{tsi}

$$\lambda_{tsi} = \lambda_b - R / N_e \quad (6)$$

Узагальнено розрахунок параметрів вихідного навантаження можна представити так

$$\lambda_{tsj} = \begin{cases} \lambda_b, & \text{якщо } q_j > \lambda_b \\ \lambda_b - R / N_e, & \text{якщо } q_j \leq \lambda_b \end{cases} \quad (7)$$

Такий підхід забезпечує моделювання з невисокою адекватністю (моделювання тим грубіше, чим більша кількість вузлів N_e), але замкненість навантаження (коректність моделі) буде забезпечена.

Далі розглянемо підхід до розрахунку на момент t параметрів потоків навантаження λ_{tbj} . Вважатиме, що параметр потоку навантаження, яке входить до i -го вузла від j -го вузла можна записати так:

$$\lambda_{tbij} = k_{ji} \lambda_{tsj}, \quad (8)$$

де k_{ji} – частка найкоротших шляхів від j -го вузла у множині всіх інших найкоротших шляхах за всіма вихідними напрямками з цього вузла. Розраховується значення k_{ji} за формулою

$$k_{ji} = \frac{n_{ji}}{(N - 1)} \quad (9)$$

де $(N - 1)$ – кількість вузлів, до яких прокладені найкоротші шляхи (тут вважатиме, що це всі вузли мережі, відмінні від j -го вузла), а n_{ji} – кількість найкоротших шляхів через напрямки від j -го до i -го вузла.

Після визначення значень параметрів вхідних і вихідних потоків здійснюється моделювання моменту відбуття наступної події за формулою (1), або за формулою (2).

3.°Розрахунки і аналіз результатів

Деякі з розрахункових результатів, отриманих із застосуванням запропонованого підходу до збереження замкненості навантаження при введених

спрощення приведені далі. Розрахунки проводилися для відносно невеликої мережі (у порівнянні із сучасними супутниковими мережами комутації пакетів), яка містить 400 вузлів. Вважалося, що мережа топологічно замкнена (як показано на рис. 1а), а також замкнена за навантаженням (на початок моделювання генерується навантаження у вузлах; вважається, що вхідне і вихідне навантаження відсутні; навантаження постійно «циркулює» в мережі, так як, вузол має не затримувати його в собі, а передавати далі за прийнятими правилами його передачі). Кількість рівнів, на які розділений накопичувач вузла, – 25. Максимальна інтенсивність, з якою виходило б навантаження з вузла, якщо б вузол був постійно достатньо заповненим, – 1 зміна кількості заповнених рівнів накопичувача у одиницю часу (одиницю часу тут не виділяємо, параметри потоків виражені на одиницю часу). На рис. 2 показані результати моделювання мережі з високим рівномірним заповнення вузлів.

Зокрема, на початковий час моделювання генерація заповнення мережі здійснена на основі генерування кількості заповнених рівнів накопичувача як дискретної випадкової величини у діапазоні від 5 до 25 (мережа рівномірно заповнена, без перекосів флуктуацій навантаження). На кожному кроці моделювання розраховувалася середня навантаження в вузлах (середня кількість заповнених рівнів у вузлах мережі μ_m), на графіку на рис. 2а за віссю абсцис приведений час t (одиниця часу не конкретизована, значення параметри потоків задаються у кількості змін на одиницю часу).

Вочевидь, для замкненою за навантаженням мережі ці значення не має змінюватися. Але тут при прийнятому підході до моделювання можливі невеличкі відхилення навколо сталого значення. Особливість моделі в тому, що тут не моделюються «напрямку» переходи рівнів заповнення від одного вузла до інших по вихідним напрямкам (в цьому випадку сумарний і середній рівень заповнення вузлів мали би зберігатися незмінними протягом часу моделювання). В моделі забезпечена незмінність навантаження на рівні параметрів потоків (сума параметрів потоків вхідного навантаження дорівнює сумі вихідного навантаження і ці значення не змінюються). Але в кожному вузлі відповідно до поточних значень параметрів потоків моделюється випадковий процес зміни його стану (це дає невеличкі коливання навколо більш точного «каркасу», який задають значення параметрів потоків).

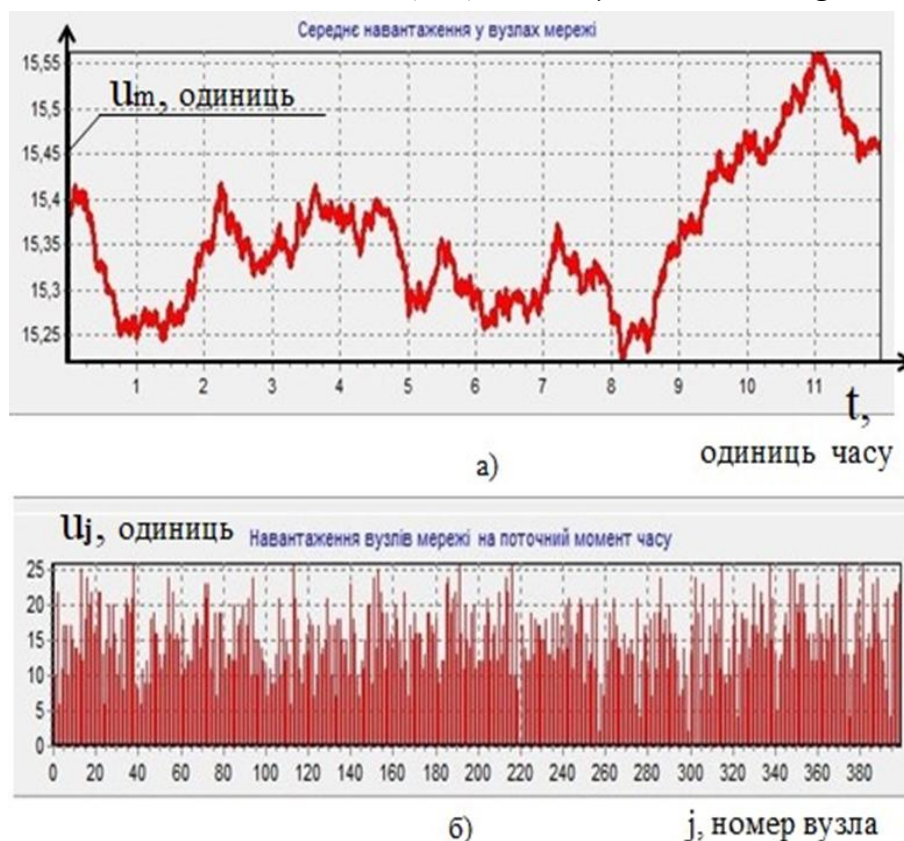


Рисунок 2 – Результати моделювання мережі з високим навантаженням: графік зміни середнього (модельного) навантаження у мережі (а); розподіл навантаження у мережі на кінець інтервалу моделювання

Саме випадковість цього процесу і дискретність зміни станів дає те, що графік не є гладким, присутність дрібних ривків. А більш розтягнуті у часі зміни, показані на графіку рис. 2а, пов'язані із випадковим процесом функціонування вузлів в купі з відбитком на цьому процесі дії «формули керування» навантаженням, яка обрана для завдання вартості лінії навантаження. Результати моделювання (для прикладу приведені на графіку рис. 2а для 12 годин моделювання) показують відсутність трендових змін середнього навантаження, коливання навколо середнього значення. Представлені результати показують зміни в межах 0,25 від одного рівня заповнення накопичувача. В цілому відхилення можуть бути в межах значення параметру потоку, заданого у кількості змін станів накопичувача у одиницю часу. Напис 2б приведений стан заповнення вузлів мережі на один з останніх моментів інтервалу моделювання,

На рис. 3 представлені результати моделювання мало заповненої навантаженням мережі, яке розподілено в мережі рівномірно (рис. 3а). Зокрема, стани заповнення накопичувачів вузлів мережі генеровані як дискретні випадкові

величини у діапазоні від 0 до 5. У цьому випадку також маємо збереження середнього навантаження (на графіку на рис. 3б).

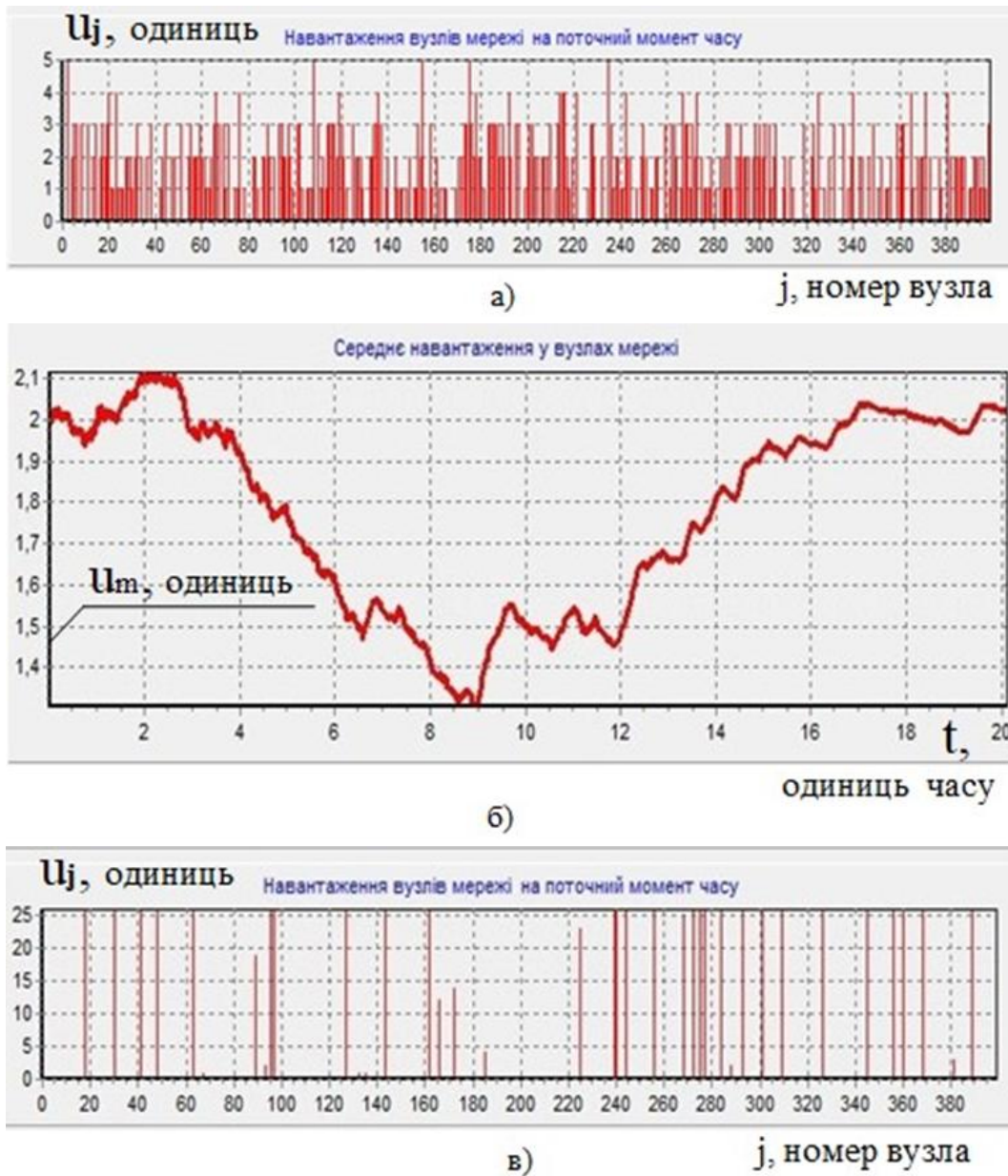


Рисунок 3 – Результати моделювання мало навантаженої мережі: розподіл навантаження у мережі на початок моделювання (а); графік зміни середнього (модельного) навантаження у мережі (б); розподіл навантаження у мережі на кінець інтервалу моделювання (в)

На рис. 3в показаний стан навантаження мережі на 20 годину моделювання. Це типова ситуація для випадку моделювання замкненої мало заповненої мережі при застосуванні правил управління навантаження, які спрямовані тільки на заохочення обирати рух навантаження через менш заповнені вузли. Як можна бачити, алгоритм керування «обрав» за своїми правилами оптима-

льний стан мережі. За для досягнення «свого» оптимуму він просто «розклав» невеличке навантаження у невеликій групі вузлів, максимально заповнивши їх (вивів ці вузли зі складу мережі), а інші вузли залишилися майже пустими для руху ними навантаження. Але це в штучній ситуації замкненої мережі невеликого рівномірного заповнення, в якій за правилами мережі циркулює навантаження. Крім того, формули управління навантаженням у ідеально рівномірно заповненій мережі бажано не застосувати. В реальній мережі буде свій вхід і вихід навантаження, буде істотна нерівномірність навантаження і застосування правил керування навантаженням стане доцільним.

Дію правил керування навантаженням варто дивитися в замкненій мережі саме для вивчення здатності алгоритму долати суттєві нерівномірності (флуктуації, переколи навантаження). В даному випадку розрахунки приводилися лише з метою вивчення у штучно створеній ситуації замкненої мережі підходу до реалізації спрощеного моделювання без втрати цілісності навантаження.

Висновки. В роботі вдосконалена спрощена імітаційна модель мережі, яка заснована на дискретизованому опису станів навантаження вузлів мережі і відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням. Зокрема, штучно виділена «частина процесу функціонування мережі» – запропоновано підхід до моделювання транзитного навантаження у замкненій за навантаженням мережі. Запропонований підхід до моделювання дозволяє здійснювати суттєві спрощення і забезпечує нівелювання негативно-го впливу спрощень на «замкненість навантаження». Розвиток цього дослідження передбачає введення (не пряме, а з відповідними змінами) запропонованого підходу до збереження навантаження у повну спрощену модель мережі комутацій пакетів, яка враховує також обмін навантаженням з користувачами мережі. Крім того повна модель передбачає врахування відстані між вузлами мережі у формулі вартості елементарної лінії зв'язку. На сьогодні управління мережними процесами в системах, що створені на основі космічних апаратів, стає все більш актуальними. А також розвиваються потужні, оригінальні проекти (у тому числі, у нас в Україні [19]), які стосуються не тільки передачі даних із застосуванням супутникових систем, а перенесення обчислювальних операцій на орбіти. Реалізація цих проектів вже потребує управління навантаженням, які створюють обчислювальні задачі. Але задача керування навантаженням зв'язку залишається актуальною, так як в основі функціонування сучасних супутникових систем, в основі розвитку інтернет-технологій на Землі і

в космосі лежить застосування передачі інформації на основі техніки комутації пакетів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Barghash A., Hammad L., Gharaibeh A., Traditional vs. Modern Data Paths: A Comprehensive Survey / Ahmad Barghash, Lina Hammad, Ammar Gharaibeh // Computers 2022, 11(9), 132. <https://doi.org/10.3390/computers11090132>
2. Chiesa M., Kamisinski A., Rak J., Member S. A Survey of Fast-Recovery Mechanisms in Packet-Switched Networks / Marco Chiesa, Andrzej Kamisinski, Jacek Rak, Senior Member // IEEE Communication Surveys & Tutorials, vol. 23 Issue 2, second quarter 2021. DOI: 10.1109/COMST.2021.3063980
3. Weiwei Jang, Yafeng Zhan, Xiaolong Xiao, Guanglin Sha, Network Simulators for Satellite-Terrestrial Integrated Networks: A Survey // IEEE Xplore, Volume 11, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3313229
4. Лабуткина Т.В. Концепция спутниковой сети коммутации пакетов с наземным, авиационным и космическим пользовательскими сегментами. / Т.В. Лабуткина, А.В. Бабанина, Н.М. Сотничек, И.А. Саенко, А.В. Дымченко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2017. – Т. XXII. – С. 66-84.
5. https://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/ftf/program_5e47c02a5163b.pdf
6. Kozlovskiy V., Yakymchuk N., Selepyna Y., Moroz S., & Tkachuk A. Development of a modified method of network traffic forming. Informatyka, automatyka, pomiary w gospodarce i ochronie środowiska, 13(1), 2023, P. 50-53. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.3452>
7. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов кластерного типа. / Т.В. Лабуткина, И.А. Саенко // Матеріали Тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції Перспективи телекомунікацій, 15-19 квітня, 2019, Київ, Україна. – С. 33-35.
8. Албул А.С. Обоснование модели маршрутизации для многоспутниковых LEO систем высокоскоростной передачи данных. / А.С. Албул, М.Ф. Бабаков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2016, № 6 (80). – С. 181-187.
9. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разнорысотными орбитальными сегментами / Т.В. Лабуткина, В.А. Ларин, В.В. Беликов, А.В. Борщева, А.А. Тихонова, Д.И. Деревяшкин. // Наукотехнічний журнал «Радіоелектронні і комп'ютерні системи». № 1 (75), 2016. С. 66-83.
10. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ в 2 томах. – 1992. – 608 с.

11. Guo Y., Hu G. & Shao D. QOGMP: QoS-oriented global multi-path traffic scheduling algorithm in software defined network / Scientific reports // Sci Rep 12, 14600 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18919-w>
12. О.В. Лемешко, М.О. Євдокименко. Вдосконалення потокової моделі в мультисервісній телекомунікаційній мережі із забезпеченням якості обслуговування. // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. – № 1(61). – С. 31-43. DOI: 10.30748/soivt.2020.61.04.
13. Sahar Faezi, Alireza Shirmarz, A Comprehensive Survey on Machine Learning using in Software Defned Networks (SDN). / Human-Centric Intelligent Systems (2023) 3:312–343 Pp 312-343. <https://doi.org/10.1007/s44230-023-00025-3>
<https://link.springer.com/article/10.1007/s44230-023-00025-3>
14. Rashid Amin, Elisa Rojas, Aqsa Aqdu, Sadia Ramzan, David Cassilas-Perez, Jose M. Arco. A survey on Machine Learning Techniques for Routing Optimization in SDN // IEEE Access. DOI 10.1109/ACCESS.2017.
15. Бондаренко О.В., Устиненко О.В., Протасов О.В., Клочков І. Є., Воронцов Б.С., Матюшенко М.В., Калінін П. М. Огляд сучасного використання генетичних та еволюційних алгоритмів. Стратегії, можливості (оглядова стаття) / О.В. Бондаренко, О.В. Устиненко, Р.В. Протасов, І. Є. Клочков, Б. С. Воронцов, М. В. Матюшенко, П. М. Калінін // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Машинознавство та САПР. – № 2. – 2022. – С. 6-16.
16. Лабуткина Т.В. Характеристики топологии фрагментированной на кластеры спутниковой сети / Т.В. Лабуткина, А.Д. Легенков // Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. Pp. 495-504. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-01/SCIENTIFIC-ACHIEVEMENTS-OF-MODERN-SOCIETY-1-3.04.2020.pdf>
17. Лабуткина Т.В. «Комбинированное» управление сетевой нагрузкой в сети коммутации пакетов // Т.В. Лабуткина, Д.И. Шабазов // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології у металургії і машинобудуванні, 26-29 березня 2019, Дніпро, Україна.– С. 122.
18. Борщёва А.В. Моделирование кинематики составной линии связи между космическими аппаратами спутниковой сети с разновысотными орбитальными группировками / О.В. Борщёва, Т.В. Лабуткина // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки: Збірник наукових праць. – 2015. – Т. XVII. – С. 9-25.
https://www.dnu.dp.ua/docs/zbirniki/ftf/program_5e3339a088c08.pdf
19. Лабуткина Т.В. Имитационные модели спутниковой сети коммутации пакетов на основе комбинирования моделей разной точности. / Т.В. Лабуткина, А.А. Тихонова, А.В. Борщёва, Р.С. Косий, А.И. Лукашевич // Системне проекту-

вання та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Том XIX 2015 С. 98-113.

20. Низькоорбітальна супутникова система інтернету речей на базі розподіленого супутника / М. Ю. Ільченко, Т. М. Наритник, В. І. Присяжний, С. В. Капштик, С. А. Матвієнко // Космічна наука і технологія. – 2020. – Т. 26, № 4 (125). – С. 57–85. DOI: 10.15407/knit2020.04.057

REFERENCES

1. Barghash A., Hammad L., Gharaibeh A., Traditional vs. Modern Data Paths: A Comprehensive Survey / Ahmad Barghash, Lina Hammad, Ammar Gharaibeh // Computers 2022, 11(9), 132. <https://doi.org/10.3390/computers11090132>
2. Chiesa M., Kamisinski A., Rak J., Member S. A Survey of Fast-Recovery Mechanisms in Packet-Switched Networks / Marco Chiesa, Andrzej Kamisinski, Jacek Rak, Senior Member // IEEE Communication Surveys & Tutorials, vol. 23 Issue 2, second quarter 2021. DOI: 10.1109/COMST.2021.3063980
3. Weiwei Jang, Yafeng Zhan, Xiaolong Xiao, Guanglin Sha, Network Simulators for Satellite-Terrestrial Integrated Networks: A Survey // IEEE Xplore, Volume 11, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3313229
4. Labutina T.V. Kontsepsiya sputnikovoy seti kommutatsii paketov s nazemnyim, aviatsionnyim i kosmicheskim polzovatelskimisegmentami. / T.V. Labutina, A.V. Babanina, N.M. Sotnichek, I.A. Saenko, A.V. Dyimchenko // Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki. – 2017. – Т. XXII. – С. 66-84.
5. Kozlovskiy V., Yakymchuk N., Selepyna Y., Moroz S., & Tkachuk A. Development of a modified method of network traffic forming. Informatyka, automatyka, pomiary w gospodarce i ochronie środowiska, 13(1), 2023, P. 50-53. DOI: <https://doi.org/10.35784/iapgos.3452>
6. Labutkina T.V. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov klasternogo tipa. / T.V. Labutkina, I.A. Saenko // Materialy Trynadtsiatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii Perspektyvy telekommunikatsyi, 15-19 kvitnia, 2019, Kyiv, Ukraina. – S. 33-35.
7. Albul A.S. Obosnovanie modeli marshrutizatsii dlya mnogosputnikovyih LEO sistem vyisokoskorostnoy peredachi dannyih. / A.C. Albul, M.F. Babakov // Radioelektronni i kompiuterni systemy. – 2016, № 6 (80). – S. 181-187.
9. Labutkina T.V. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov s raznovyisotnyimi orbitalnyimi segmentami / T.V. Labutkina, V.A. Larin, V.V. Belikov, A.V. Borscheva, A.A. Tihonova, D.I. Derevyashkin. // Naukovo-tekhichniy zhurnal «Radioelektronni i kompiuterni systemy». № 1 (75), 2016. S. 66-83.
10. Shvarts M. Seti svyazi: protokolyi, modelirovanie i analiz v 2 tomah. – 1992. – 608 s.

11. Guo Y., Hu G. & Shao D. QOGMP: QoS-oriented global multi-path traffic scheduling algorithm in software defined network / Scientific reports // Sci Rep 12, 14600 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18919-w>
12. O.V. Lemeshko, M.O. Yevdokymenko. Vdoskonalennia potokovoi modeli v multiservisnii telekomunikatsiinii merezhi iz zabezpechenniam yakosti obsluhovuvannia. // Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika. – 2020. – № 1(61). – S. 31-43. DOI: 10.30748/soivt.2020.61.04.
8. Guo Y., Hu G. & Shao D. QOGMP: QoS-oriented global multi-path traffic scheduling algorithm in software defined network / Scientific reports // Sci Rep 12, 14600 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18919-w>
9. Rashid Amin, Elisa Rojas, Aqsa Aqduş, Sadia Ramzan, David Cassilas-Perez, Jose M. Arco. A survey on Machine Learning Techniques for Routing Optimization in SDN // IEEE Access. DOI 10.1109/ACCESS.2017.DOI
15. Bondarenko O.V., Ustynenko O.V., Protasov O.V., Klochkov I. Ye., Vorontsov B.S., Matiushenko M.V., Kalinin P. M. Ohliad suchasnoho vykorystannia henetychnykh ta evoliutsiinykh alhorytmiv. Stratehii, mozhlyvosti (ohliadova statia) / O.V. Bondarenko, O.V. Ustynenko, R.B. Protasov, I. Ye. Klochkov, B. S. Vorontsov, M. V. Matiushenko, P. M. Kalinin // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI» Serii: Mashynoznavstvo ta SAPR. – № 2. – 2022. – S. 6-16.
16. Labutkina T.V. Charakteristiki topologii fragmentirovannoy na klasteriyi sputnikovoy seti / T.V. Labutkina, A.D. Legenkov // Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. Pp. 495-504. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-01/SCIENTIFIC-ACHIEVEMENTS-OF-MODERN-SOCIETY-1-3.04.2020.pdf>
17. Labutkina T.V. «Kombinirovannoe» upravlenie setevoy nagruzkoy v seti kommutatsii paketov / / T.V. Labutkina, D.I. Shabazov // Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii Informatsiini tekhnolohii u metalurhii i mashynobuduvanni, 26-29 bereznia 2019, Dnipro, Ukraina.– S. 122.
18. BorschYova A.V. Modelirovanie kinematiki sostavnoy linii svyazi mezhdu kosmicheskimi apparatami sputnikovoy seti s raznovyisotnyimi orbitalnyimi gruppirovkami / O.V. BorschYova, T.V. Labutkina // // Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki : Zbirnyk naukovykh prats. – 2015. – T. XVII. – S. 9-25.
19. Labutkina T.V. Imitatsionnyie modeli sputnikovoy seti kommutatsii paketov na osnove kombinirovaniya modeley raznoy tochnosti. / T.V. Labutkina, A.A. Tihonova, A.V. BorschYova, R.S. Kosiy, A.I. Lukashevich // /Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniki. Zbirnyk naukovykh prats. Tom XIX 2015 S. 98-113.

20. Nyzkoorbitalna suputnykova systema internetu rechei na bazi rozpodilenoho suputnyka / M. Yu. Ilchenko, T. M. Narytnyk, V. I. Prysiashnyi, S. V. Kapshtyk, S. A. Matviienko // Kosmichna nauka i tekhnolohiia. – 2020. – T. 26, № 4 (125). – S. 57–85. DOI: 10.15407/knit2020.04.057

Received 02.05.2024.

Accepted 03.05.2024.

Simplified simulation model of load in a closed packet switching network

An approach to simplified simulation modeling of packet switching network load has been developed. The simulated representation of network processes is based on a simplified mathematical model of the packet switching network, which is based on a discretized description of the load states of the network nodes and corresponds to the representation of the current state of the network in the tasks of managing its load. Changes in the node's filling state are modeled as a process of reproduction and death, and in the full load model, two factors of change are taken into account: the node's exchange of load with network users and transit load flow passing through it. To study an artificially selected "part of the network functioning process" - an approach to transit load modeling in a load-locked network is proposed. The approach allows for significant simplifications and ensures the leveling of the negative impact of simplifications on "load closure" (ensures the rule of constant amount of load in a closed network). The developed simulation model, firstly, creates the basis for the improvement of the complete model, and secondly, it is convenient for working out routing algorithms when analyzing them from the point of view of indicators of the ability to "influence" the load in the network. The obtained results are generalized, but attention is focused on the example of satellite packet switching networks.

Лабуткіна Тетяна Вікторівна – к.т.н., доцент, доцент кафедри кібербезпеки та комп'ютерно-інтегрованих технологій фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Tetyana Viktorivna Labutkina - Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Cyber Security and Computer-Integrated Technologies of the Faculty of Physics and Technology of Oles Honchar Dnipro National University.

DECISION SUPPORT INFORMATION TECHNOLOGY IN VIDEO SURVEILLANCE AND MONITORING TASKS

Abstract: In the modern world, video surveillance systems are an integral part of security and monitoring measures in various sectors, from public places to industrial facilities. However, with their increasing prevalence, ethical issues arise concerning the use of video data and the impact of these systems on privacy and citizens' rights. In this article, we will delve into some of these issues in detail and propose recommendations for their resolution.

It is important to recognize the consequences that video surveillance and monitoring can have on the quality and effectiveness of decisions made by people. This problem proves to be quite relevant in various fields, including manufacturing, engineering, and others. Video surveillance and monitoring have become an integral part of the modern world, particularly in the areas of security, transportation, urban planning, and ecology, with the aid of advanced video analysis and data processing technologies. Today's video surveillance systems provide a high level of information support for decision making, which is why we will explore the key aspects of information technology that support decision making in video surveillance and monitoring tasks, as well as the prospects and challenges of its application.

Keywords: video surveillance, monitoring, information technology, decision support systems.

Problem Statement. In the context of information technology support for decision-making in video surveillance and monitoring tasks, the focus lies on identifying and addressing a range of challenges that arise in the process of utilizing these technologies. Many video surveillance systems utilize complex algorithms for object recognition and behavior analysis; however, the effectiveness of these algorithms may be limited in conditions of restricted resources or complex environmental conditions, necessitating further refinement.

One of the key aspects is ensuring the accuracy and reliability of the information used for decision-making. Even small errors in object detection or behavior analysis can lead to serious consequences. With the increasing volume of collected data, the importance of ethical and legal aspects such as privacy protection, data usage, and information storage also grows. It is necessary to strike a balance between using this data and protecting human rights.

For more effective decision-making, it is crucial to integrate video surveillance systems with other sources of information, such as sensor systems, social media, databases, etc. As video surveillance systems become increasingly connected to networks, they become vulnerable to cyber attacks. Ensuring resilience to attacks and cybersecurity is a key task for preserving information security and preventing unwanted interference in decision-making processes.

Thus, creating an effective and reliable information technology to support decision-making in video surveillance and monitoring tasks requires a comprehensive approach that considers technical, ethical, legal, and cybersecurity aspects.

Analysis of recent research and publications. One of the key elements of information technology in video surveillance is automated video analysis. This technology utilizes artificial intelligence algorithms for object recognition, behavior analysis, and anomaly detection in video streams. For example, systems can automatically detect moving objects, recognize license plates of vehicles, or identify human behavior on the street or indoors. [3]

The ability to process large volumes of video data in real-time is an incredibly important aspect of information technology support for decision-making in video surveillance and monitoring tasks. Thanks to the rapid development of computing technologies and software, modern systems effectively analyze large streams of video data and extract useful information for decision-making. Additionally, the integration of video data with geospatial information allows for the creation of comprehensive monitoring systems that not only provide visual information but also contextualize it in space. For example, systems automatically determine the location of events on a map, aiding in the rapid response to emergencies. [1-3]

However, along with the powerful capabilities of information technology, challenges arise. One of the biggest challenges is privacy protection; the collection and analysis of large volumes of video data can violate citizens' privacy. Therefore, it is important to develop and implement effective data protection measures. Machine learning and neural networks are key components of modern video analysis systems. By training on large datasets, these algorithms become increasingly accurate and efficient in object detection and behavior analysis. [1-3]

In the modern world, where work becomes increasingly monotonous and requires constant engagement, it is important to recognize the consequences this can have on the quality and effectiveness of decisions made by humans. This issue is particularly relevant in various fields, including manufacturing, engineering, and others. Continuous workload and monotony can affect the mental state of workers

and their overall productivity. Loss of concentration and fatigue can hinder the ability to make informed decisions. Long-term monotony can lead to a loss of motivation and interest in work, further complicating the decision-making process. [1]

Moreover, constant routine can lead to the application of template approaches to decision-making, which in turn can lead to a loss of flexibility and an inability to adapt to new situations. Insufficient time for studying new issues or analyzing alternative paths can also lead to a lack of information for making informed decisions. [1] To prevent these risks, it is important to regularly optimize the workflow and seek opportunities for improvement. The development of information technologies provides the opportunity to use various algorithms and methods in such activities. One way to support decision-making is to use decision support systems (DSS), which help reduce the impact of workload and monotony on the quality of decisions.

Thus, considering the risks associated with constant workload and monotony is important for ensuring effective and informed decision-making in the modern world [1].

The methodology for developing DSS based on rapid prototyping, proposed by [2], includes the following stages:

1. Identification of goals and objectives: This stage involves carefully defining the goals of DSS development, planning the development process, determining the composition of developers, and sources of knowledge.

2. Knowledge acquisition: The process of knowledge transfer from experts to a knowledge engineer (cognitologist) is carried out, including the accumulation and systematization of expert knowledge.

3. Conceptualization (structuring) of knowledge: At this stage, the structure of the acquired knowledge about the subject area is determined, which helps to formalize these knowledge for use in the system.

4. Formalization of knowledge: The formalization stage involves constructing a formal representation of concepts about the subject area based on the selected (or developed) knowledge representation model.

5. Prototype implementation: At this stage, a DSS prototype is developed based on selected or developed software and technical means.

6. Testing the implementation results: The testing stage aims to verify and evaluate the operation of the DSS according to real requirements and user requests. [3,4]

This methodology provides a systematic and effective approach to the development of DSS, ensuring a quality and functional system that meets the needs of users.

Research Objective. The use of video data in video surveillance and monitoring systems raises a number of ethical issues that require attention and resolution to ensure the protection of privacy and other rights of citizens.

Decision Support Information Technology (DSIT) in the field of video surveillance and monitoring is a key component for optimizing the processes of analysis, processing, and utilization of video data. This technology is used to automate and improve decision-making based on information obtained from video recordings. The main goal of this technology is to provide operators and surveillance systems with powerful tools for automatically detecting events, objects, and patterns in the video stream, which helps in making effective and well-founded decisions.

The method of using computer vision technologies based on video surveillance data in conjunction with decision support systems (DSS) is an important direction for improving management and control processes in various fields. This allows reducing the workload on personnel, optimizing the processes of analysis and event detection, and improving task performance. Computer vision technologies provide the ability to automate the analysis of video data, while DSS help make informed decisions based on this information.

A key component of using computer vision technologies is the use of video analytics systems, which detect objects, recognize faces, detect motion, and analyze abnormal events in video recordings. Before a computer can detect objects in an image, the original image undergoes preprocessing, which includes noise reduction and contrast enhancement. Then, special features such as colors, textures, or shapes are extracted, and these objects are classified based on trained models. In particular, convolutional neural networks (CNNs) are used for these purposes, which are one of the basic approaches in deep learning for object recognition in images. This approach involves applying patterns to recognize objects in images through convolution operations.

Image classification is one of the most common tasks in the field of computer vision. It is based on the classification of objects and their localization in the image, allowing to determine their coordinates and positions on the frame. There are many methods for object detection, but important characteristics are processing speed and detection quality. Thus, the use of computer vision technologies in conjunction with decision support systems in the field of video surveillance and monitoring is a prom-

ising direction for improving the efficiency and accuracy of object detection, face recognition, and event analysis.

The use of video data in surveillance and monitoring systems raises a number of ethical issues that require attention and resolution to ensure the protection of privacy and other rights of citizens.

Information technology for decision support (ITDS) in the field of video surveillance and monitoring is a key component for optimizing the processes of analysis, processing, and utilization of video data. This technology is used to automate and improve decision-making based on information obtained from video recordings. The main goal of this technology is to provide operators and surveillance systems with powerful tools for automatically detecting events, objects, and patterns in video streams, which helps in making effective and informed decisions.

Video analytics systems are a key component of information technology for decision support in surveillance and monitoring tasks. They are responsible for analyzing video data from cameras in real-time or post-processing mode, detecting events, movements, objects, and other important aspects for decision-making. Object detection is used to identify and highlight objects in the video stream (these can be people, vehicles, animals, or any other objects of interest to the surveillance system). Face recognition function is used to recognize and identify people in video recordings, used for access control, detection of suspicious individuals, or other security purposes. The technology also detects and analyzes the movement of objects in the video stream (can be used to detect abnormal movement, such as suspicious movements of people or vehicles, which may indicate potential threats).

Privacy and confidentiality of individuals depicted in videos are one of the most important ethical issues in the context of using surveillance systems. The collection and processing of video data become sources of privacy breaches, which often raise serious concerns and negative public reaction. The issue of protecting the privacy of individuals in video recordings and monitoring systems arises from the possibility of using this data for the identification of individuals, their movements, and behavior without their consent, which is very important as in the modern world, individuals cannot avoid it. This is especially relevant in cases where video surveillance is conducted in public places such as streets, parks, airports, and other public facilities.

To ensure the privacy protection of individuals in videos, several measures need to be taken. Firstly, it is important to limit the collection and storage of video data to the necessary minimum, restricting the duration of their storage and processing. Some systems already use anonymization or face masking technologies to

protect the privacy of individuals depicted in videos. Additionally, regular risk assessments of privacy breaches and improvement of data protection technologies are crucial to minimize potential threats. It is also necessary to develop and implement clear rules for the use of video data, defined according to legal requirements and ethical standards.

The direction and scale of video surveillance are key aspects that affect the ethics and effectiveness of using surveillance systems. They determine how accurately and widely monitoring of certain areas or objects takes place and which groups of people become the object of surveillance. The direction of video surveillance is determined by the goals and tasks for which the system is intended, for example, it may be aimed at ensuring the safety of public places, monitoring compliance with rules at work sites, or used to detect criminals or prevent thefts. It is important that the direction of video surveillance is clearly defined and limited according to the tasks facing the system. The scale of video surveillance, on the other hand, determines how large or limited the area under surveillance is and which objects or individuals are under observation. Therefore, the scale can vary from large public sites to narrow industrial corridors. The scale of video surveillance can also be temporary, for example, during mass events or emergencies, or permanent, for continuous monitoring of specific locations. [4]

Ethical aspects of the direction and scale of video surveillance include ensuring proportionality between the necessity of surveillance and privacy protection, as well as preventing random or systematic observation of specific groups of people or objects. For example, a large-scale video surveillance system in a public area should be aimed at overall safety and crime prevention, rather than systematic tracking of individuals without justified reasons.

Considering privacy, confidentiality, direction, and scale, it is important to understand that each of these aspects should be interconnected, and it is also important to mention transparency and citizen awareness. Transparency and citizen awareness of the presence and functioning of video surveillance systems are necessary components for ensuring the ethical use of these technologies. Individuals affected by these technologies have the right to know that their surroundings may be under video surveillance and what data may be collected, stored, and used. First and foremost, it is important to ensure transparency regarding the placement of surveillance cameras and their operation. Information about the location of cameras, their orientation, and the extent of surveillance should be made available to the public. This can be achieved through visible signage at surveillance locations, as well as

through the publication of information on municipal websites or by organizations responsible for installing cameras.

Furthermore, it is important to ensure citizens' awareness of the rules for the use and processing of video data. Citizens should be able to obtain information about how they can influence the processes of video surveillance and their own data. Additionally, it is important to provide feedback mechanisms that allow citizens to address questions and complaints regarding the use of surveillance systems.

Conclusions. Information technology for decision support in surveillance and monitoring tasks plays an important role in ensuring safety and efficiency in various areas of life. With the development of artificial intelligence, big data processing, and machine learning technologies, we can expect further improvement in the functionality and efficiency of these systems. However, it is also important to consider ethical and legal aspects, ensuring the protection of privacy and compliance with data security norms. A smart combination of technology and legal regulation will help achieve the optimal balance between ensuring security and protecting personal freedom.

To ensure the privacy protection of individuals in videos, it is important to take a series of measures. Collection and storage of video data should be limited to the necessary minimum, and the duration of their storage and processing should be restricted. Some systems already use anonymization or face masking technologies to protect individuals' privacy in videos. However, it is important to note that the development of these technologies is ongoing, and privacy protection requirements are constantly evolving.

Protecting individuals' privacy in videos requires a comprehensive approach that combines technological, organizational, and legal measures. Only in this way can a balance between security and privacy be achieved, ensuring the protection of citizens' rights and interests. It is very important to carefully consider and limit the direction and scale of video surveillance from ethical perspectives, ensuring a balance between security and the protection of citizens' rights and privacy.

To ensure the ethical use of video surveillance, it is important to ensure proportionality between the necessity of surveillance and privacy protection, as well as to ensure transparency and citizen awareness of the functioning of video surveillance systems. Only through coordinated application of these principles can effective and ethical use of video surveillance be ensured in modern society.

REFERENCES

1. Bisykalo O., Romanets V. Information Technologies in Customer Service: Utilizing Computer Vision and Decision Support Systems. SWorldJournal. Issue 21 / Part 1. 2023.
2. Subbotin S., Oliynyk A., Hofman E. Intelligent Information Technologies for Designing Automated Systems of Diagnosis and Image Recognition. Kharkiv: LLC "Company Smith", 2012. 317 p.
3. Pustovarov V., Information Technology for Developing Decision Support System for Recognition of Buildings in Space and Aerial Photographs. Cherkasy. 2021. P. 26.
Pustovit Y., Gbur Z. Analysis of Existing Strategies in State Management Regarding the Use of Artificial Intelligence in Defense. Advances and Achievements in Science. No. 1. 2024.

Received 03.05.2024.

Accepted 07.05.2024.

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу

В сучасному світі системи відеоспостереження є невід'ємною частиною безпекових та контрольних заходів в різних сферах: від громадських місць до промислових об'єктів. Проте, разом із зростанням їхньої поширеності з'являються етичні питання, пов'язані з використанням відеоданих та впливом цих систем на приватність та права громадян. У цій статті ми детально розглянемо деякі з цих питань та запропонуємо рекомендації для їх вирішення.

Важливо визнати наслідки, які може мати відеоспостереження та моніторингу, на якість та ефективність рішень, які приймають люди. Ця проблема виявляється досить актуальною у різних сферах, включаючи виробництво, інженерію, та інші галузі. Відеоспостереження та моніторинг стали невід'ємною частиною сучасного світу, зокрема в областях безпеки, транспорту, містобудування та екології, з допомогою передових технологій відеоаналізу та обробки даних. Сьогоднішні системи відеоспостереження забезпечують високий рівень інформаційної підтримки для прийняття рішень, саме тому ми розглянемо ключові аспекти інформаційної технології, яка забезпечує підтримку прийняття рішень у задачах відеоспостереження та моніторингу, а також перспективи та виклики її застосування.

Суковенко Костянтин Георгійович - аспірант кафедри кібербезпеки та комп'ютерно-інтегрованих технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Sukovenko Kostyantyn - postgraduate of Department of Cyber Security and Computer-Integrated Technologies of Dnipro National University Oles Honchar.

О.Г. Гончаров, Вік.В. Гнатушенко, О.С. Шевцова

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ ПІДХІД СЕГМЕНТАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ НА СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ

Анотація. В сучасному аграрному секторі важливу роль відіграє точне картографування та моніторинг агроугідь за допомогою супутникових знімків, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів, планувати посівні площі та прогнозувати врожайність. Семантична сегментація геоданих за допомогою глибокого навчання відкриває нові можливості для автоматизації цих процесів, проте потребує ретельного вибору та оптимізації моделей, здатних ефективно працювати з високорозмірними геопросторовими даними. Дана робота присвячена аналізу та порівнянню трьох різних модифікацій архітектури U Net для задачі семантичної сегментації агроугідь на основі супутникових зображень. Було досліджено моделі з різними архітектурними особливостями, включаючи застосування остаточних блоків, методів нормалізації та регуляризації. Результати показали, що деякі модифікації архітектури U Net можуть значно підвищити точність сегментації, що відкриває шлях для подальших досліджень у напрямку вдосконалення алгоритмів обробки супутникових даних для потреб аграрного сектору.

Ключові слова: семантична сегментація, агроугіддя, супутникові зображення, глибоке навчання, архітектура U Net, геодані.

Постановка проблеми. Зростаюча потреба у точному моніторингу та управлінні агроугіддями через супутникові технології створює виклики для обробки та аналізу геопросторових даних [6,7]. Ефективне використання таких даних вимагає розробки точних алгоритмів семантичної сегментації, здатних розрізняти різні типи поверхонь з високою точністю та швидкістю. Традиційні методи часто не забезпечують достатньої точності або вимагають значних обчислювальних ресурсів, що обмежує їх застосування в реальному часі та на великих територіях. Інтеграція глибокого навчання в процеси аналізу геоданих обіцяє вирішення цих проблем, однак вибір і оптимізація моделей для специфічних завдань сегментації агроугідь залишаються невирішеними [5,8]. Відсутність універсального підходу до вибору архітектури нейронної мережі, яка б максимально ефективно виконувала б завдання сегментації за

мінімального часу обчислень, підкреслює потребу у дослідженні та адаптації існуючих моделей глибокого навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд сучасних наукових робіт у сфері семантичної сегментації виявляє значне зростання інтересу до використання глибокого навчання для рішення завдань у різноманітних dome-нах, включаючи аграрний сектор. Вивчення методів і підходів, застосованих у цих дослідженнях, може надати цінні вказівки для покращення технік семантичної сегментації в аграрному секторі.

У роботі "Residual wave vision U-Net for flood mapping using dual polarization Sentinel-1 SAR imagery" [1] розроблено модифіковану архітектуру U-Net, яка ефективно обробляє двополяризаційні SAR зображення для картографування затоплень. Важливим висновком цього дослідження є використання остаточних блоків для підвищення точності визначення водних об'єктів, що може бути застосовано для детального аналізу водної ретенції в агроугіддях .

Дослідження "Generating synthetic images from cone beam computed tomography using self-attention residual UNet for head and neck radiotherapy" [2] показує, як використання механізму самоуваги разом із остаточними блоками в архітектурі U-Net може значно покращити якість синтезованих медичних зображень. Такий підхід може бути адаптовано для створення високоякісних синтетичних зображень агроугідь для тренування моделей глибокого навчання без потреби великої кількості реальних даних .

Робота "Deep learning-based hybrid feature selection for the semantic segmentation of crops and weeds" [3] розкриває потенціал гібридного вибору ознак на основі глибокого навчання для семантичної сегментації сільськогосподарських культур і бур'янів. Висновки цього дослідження можуть слугувати основою для розробки більш точних методів класифікації культур і бур'янів на полях, що є ключовим для ефективного агроменеджменту .

У статті "Comparative performance analysis of simple U-Net, residual attention U-Net, and VGG16-U-Net for inventory inland water bodies" [4] порівнюється ефективність трьох варіацій архітектури U-Net для інвентаризації внутрішніх водних об'єктів. Основним внеском є демонстрація переваги використання увагових механізмів та передтренованих мереж у підвищенні точності сегментації, що може бути адаптовано для ідентифікації різноманітних типів агроугідь .

Ці дослідження підкреслюють важливість інноваційних підходів у семантичній сегментації і надають перспективні напрямки для подальшого

вдосконалення методів оцінки та моніторингу агроугідь за допомогою технологій глибокого навчання.

Метою дослідження є розробка та порівняльний аналіз модифікацій архітектури U-Net для задачі семантичної сегментації агроугідь на основі супутникових зображень. Дослідження спрямоване на виявлення оптимальних архітектурних та тренувальних підходів, що забезпечують високу точність сегментації з мінімальними обчислювальними витратами, з метою покращення ефективності моніторингу та управління агроугіддями. Особлива увага приділяється аналізу впливу остаточних (residual) блоків, методів нормалізації та регуляризації на загальну продуктивність моделей, щоб визначити найкращі практики для обробки геопросторових даних у сільськогосподарському секторі.

Основна частина. Для реалізації цілей нашого дослідження використовувалися супутникові зображення, отримані з архіву Copernicus HUB, зокрема дані супутника Sentinel-2 (ідентифікатор сцени: S2A_MSIL2A_20230605T083601_N0509_R064_T36TWS_20230605T125758.SAFE), зафіксовані 5 червня 2023 року. Вибір цієї дати обумовлений необхідністю аналізу стану сільськогосподарських угідь перед значними змінами, спричиненими катастрофою на Каховській ГЕС. Для аналізу обрано знімки, отримані з датчиків із просторовою роздільною здатністю 20 метрів, що містять інформацію в спектральних каналах B03 (синій), B04 (червоний), B8A (ближній інфрачервоний) та B11 (середній інфрачервоний). Для навчання моделі із помного знімку була взято лише область 2560x2560 px (51,2 тис м2) що дає змогу отримати 400 фрагментів зображень розміром 128x128 пікселів (Зображення 1). Для даного зображення була проведена ручна розмітка даних з трьома типами (зображення 2): сільськогосподарські поля (field); водойми (water); інше (other), куди попали дороги, ліси, зони міської та сільської застройки, тощо.



Рисунок 1 - Область дослідження та навчання моделі

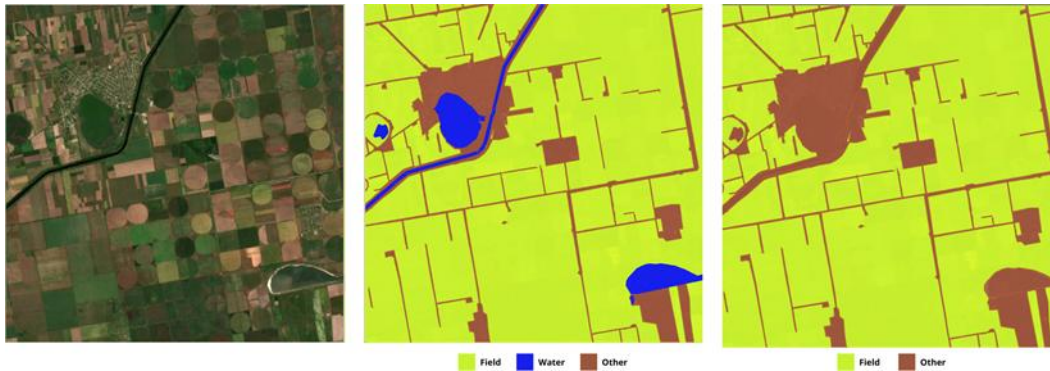


Рисунок 2 - Розмітки даних по супутниковим знімкам

Попередня обробка даних полягала в розбитті первинних супутникових знімків на фрагменти розміром 128x128 пікселів, що охоплюють території з попередньо розміченими об'єктами. Цей підхід дозволив створити набір даних, адаптований для тренування моделей глибокого навчання, з подальшим об'єднанням інформації з вибраних спектральних каналів у єдиний файл для кожного фрагменту. Нормалізація інтенсивності пікселів здійснювалася шляхом їх масштабування до інтервалу $[0; 1]$ без застосування додаткових методів аугментації, враховуючи достатню кількість даних для навчання. Визначення класів об'єктів на фрагментах базувалося на бінарних масках, де "1" позначало сільськогосподарські угіддя, а "0" - інші типи покриття.

Опис моделей глибокого навчання: В рамках дослідження було використано три модифікації архітектури U-Net, що включають варіації з базовими елементами (конволюційні блоки, активація, пулінг) та розширення, направлені на підвищення точності сегментації та запобігання перенавчанню (включення остаточних блоків, Dropout шарів, Batch Normalization, а також використання функції активації LeakyReLU).

Методи оцінки ефективності: Основною стратегією оцінки результатів сегментації було використання матриці помилок та візуального аналізу з метою визначення якості виокремлення сільськогосподарських угідь. Планується розширення інструментарію оцінки за допомогою додаткових метрик для глибшого аналізу.

Аналітичні інструменти та програмне забезпечення: У цьому дослідженні ми застосували Python як основу для розробки моделей глибокого навчання, використовуючи бібліотеки TensorFlow та Keras для створення та тренування нейронних мереж. Для обробки супутникових зображень використовувалися бібліотеки NumPy та Rasterio, що забезпечили потужні інструменти для

маніпуляції з даними, а GeoPandas допомогла у роботі з геопросторовими даними. Ручна розмітка даних для навчання моделей виконувалася за допомогою інструменту GroundWork, що забезпечило високу якість тренувальних датасетів і сприяло точній ідентифікації цільових об'єктів на знімках.

Ця методологія відображає комплексний підхід до аналізу сільськогосподарських угідь за допомогою супутникових знімків із застосуванням технологій глибокого навчання, забезпечуючи надійну основу для оцінки потенціалу різних моделей у контексті задач сегментації.

Модель № 1. U-Net з LeakyReLU активацією та Batch Normalization (Kernel 3x3 => 2x2). Архітектура моделі (Рисунок 3) складається з чотирьох блоків енкодера, які поступово зменшують просторовий розмір вхідного зображення 128x128 пікселів через конволюції та максимальне згортання, використовуючи фільтри від 64 до 512. Центральний шар, або "ботлнек", обробляє дані за допомогою 1024 фільтрів, після чого наступають чотири блоки декодера, які відновлюють розмір зображення до початкового, використовуючи операції збільшення розміру та конкатенації з відповідними блоками енкодера для збереження контексту. Вихідний шар використовує softmax для класифікації кожного пікселя на два класи, забезпечуючи семантичну сегментацію зображення. Усі конволюційні шари включають Batch Normalization та використовують LeakyReLU функцію активації.

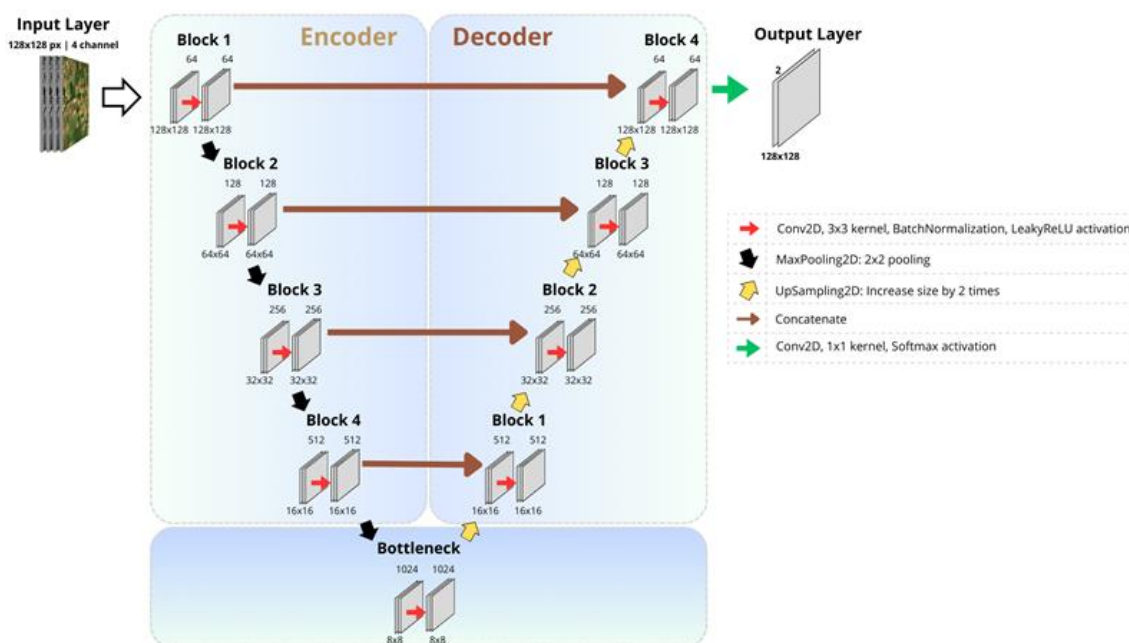


Рисунок 3 - Архітектура Моделі №1 U-Net з LeakyReLU активацією та Batch Normalization (Kernel 3x3 => 2x2)

Результати:

Accuracy: Поліпшення точності від 61.24% до 69.23% на валідаційному наборі даних.

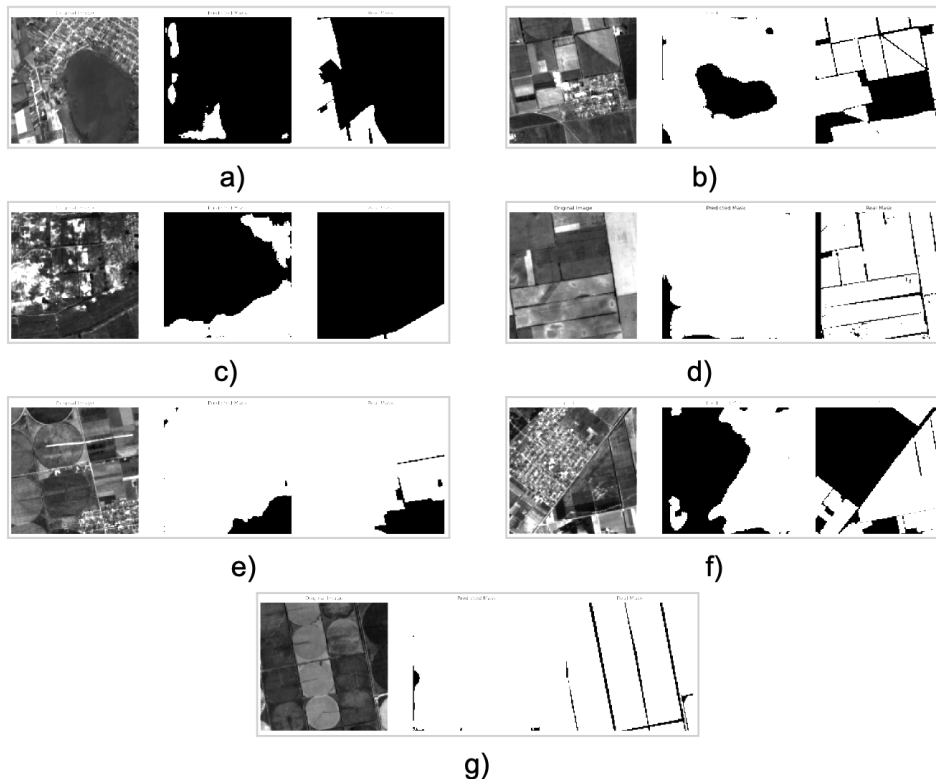


Рисунок 4 - Результат роботи моделі №1. Оригінальне зображення;
Результат маски від моделі; Реальна маска

Візуальний аналіз:

Сільськогосподарські угіддя: Виділяє поля, але з деякими помилками, особливо коли рельєф та текстури полів мають схожість із іншими природними елементами.

Водойми: Модель добре розпізнає водойми, демонструючи чіткі межі водних ресурсів.

Забудовані території: Модель іноді неправильно ідентифікує будівлі та інші конструкції як угіддя, що свідчить про необхідність подальшого доопрацювання моделі для покращення розрізнення між класами.

Загальний висновок:

Модель №1 показує високий потенціал для точної сегментації сільськогосподарських угідь і водних ресурсів на спутникових знімках. Остаточні блоки та Batch Normalization ефективно сприяють стабільності навчання. Втім, модель потребує додаткової настройки, щоб зменшити кількість помилок і підвищити загальну точність в складних зонах зображень.

Модель № 2. U-Net з остаточними блоками (residual). Архітектура моделі №2 (зображення 5) поєднує класичний підхід U-Net з використанням остаточних блоків, що дозволяє підвищити точність моделі завдяки ефективнішому розповсюдженню градієнтів під час навчання. Модель розпочинається з вхідного шару для зображень розміром 128x128 пікселів із 4 каналами. Далі йдуть чотири блоки енкодера з остаточними з'єднаннями: перший блок з 32 фільтрами, другий — з 64 фільтрами, кожен з яких включає два конволюційні шари з активацією ReLU, а після кожного блоку застосовується максимальне згортання для зменшення розміру зображення вдвічі. Центральний шар, або "ботлнек", обробляє дані за допомогою 128 фільтрів, зберігаючи розмір 32x32 пікселів. В архітектурі декодера використовуються два блоки для поступового відновлення розміру зображення до первісних розмірів: перший блок декодера із 64 фільтрами, що збільшує розмір до 64x64 пікселів, і другий блок із 32 фільтрами, який повертає розмір до 128x128 пікселів. Обидва блоки декодера включають процеси збільшення розміру, конкатенації з відповідними блоками енкодера та дві конволюційні операції з активацією ReLU та остаточними з'єднаннями. Вихідний шар застосовує softmax для визначення класифікації кожного пікселя між двома можливими класами, забезпечуючи ефективну семантичну сегментацію зображення.

Результати:

Ассурасу: Найвища точність на тренувальних даних досягається у останньому епоці, близько 60.59%.

Точність: Показує здатність моделі розрізняти класи, однак залишається значний простір для покращення. Висока кількість помилково позитивних результатів свідчить про те, що модель часто неправильно класифікує незасіяні ділянки як засіяні. З іншого боку, кількість помилково негативних результатів, хоча й менша, вказує на тенденцію моделі упускати певні засіяні ділянки.

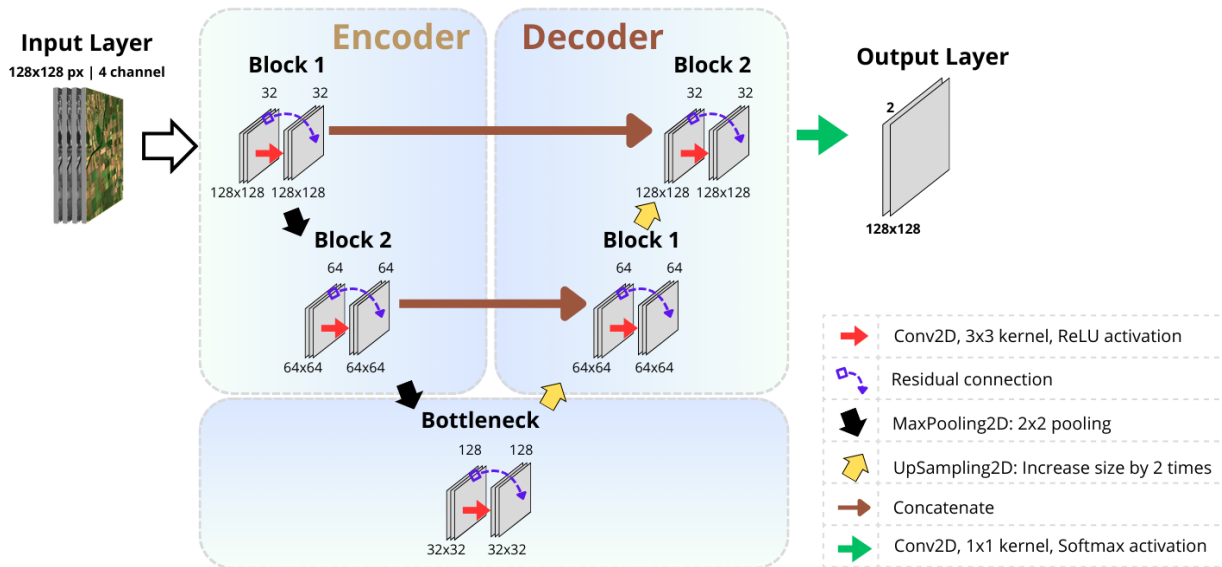


Рисунок 5 -Архітектура Моделі №2 U-Net з остаточними блоками (residual)

Візуальний аналіз:

З використанням остаточних блоків, модель показує здатність до більш точної сегментації, але деякі області все ще бракують точності порівняно з реальними масками, що вказує на потребу в подальших удосконаленнях.

Це зведення демонструє, що модель №2 здатна до ідентифікації сегментованих зон, однак виникають помилки, особливо у випадку класифікації несільськогосподарських зон. Для покращення результатів може знадобитися більш глибока архітектура або розширені методи тренування, такі як трансферне навчання чи додаткова аугментація даних.

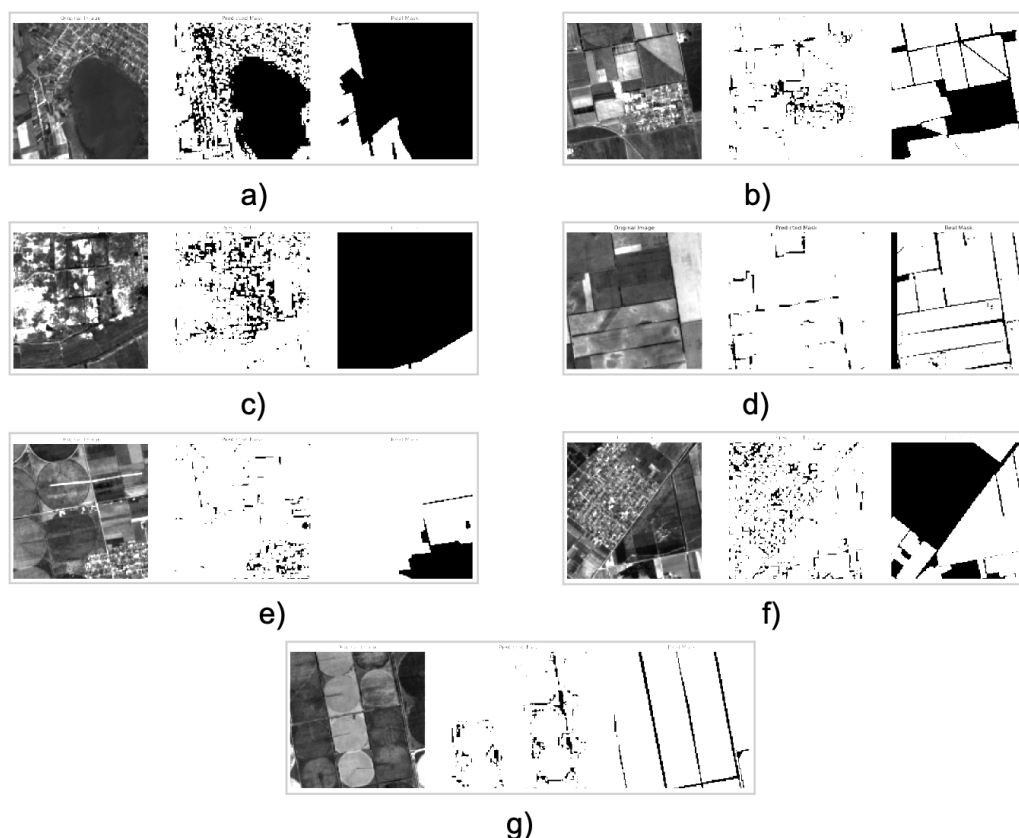


Рисунок 6 - Результат роботи моделі №2. Оригінальне зображення;
Результат маски від моделі; Реальна маска

Модель № 3. U-Net з остаточними блоками (residual) та нормалізацією. Архітектура моделі №3 (зображення 7) це продовження розробки ідей, закладених у моделі №2, з акцентом на подальшому підвищенні ефективності моделі через впровадження шару Batch Normalization і шару Dropout в кожен остаточний блок. Впровадження Batch Normalization сприяє нормалізації вхідних даних перед активацією, покращуючи загальну стабільність і швидкість навчання моделі, а також допомагаючи уникнути проблеми внутрішнього зсуву коваріації. Включення шару Dropout забезпечує додатковий захист від перенавчання, тимчасово відключаючи частину нейронів під час тренування, що спонукає мережу навчатися на більш різноманітних шаблонах даних і підвищує узагальненість отриманих рішень. Ці зміни роблять модель №3 більш стійкою до викликів, пов'язаних з перенавчанням, і підвищують її ефективність у завданнях семантичної сегментації, особливо на складних і різноманітних наборах даних.

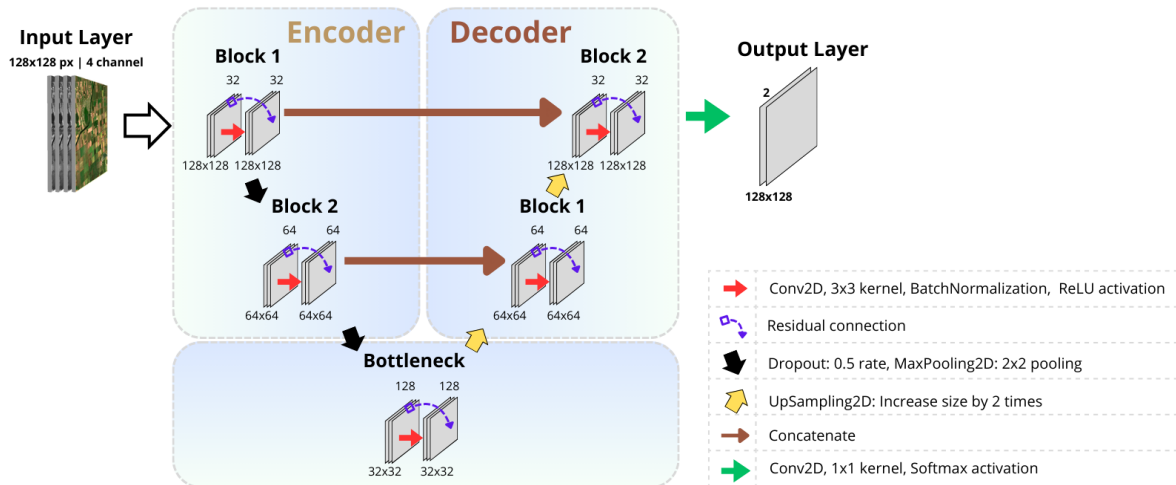


Рисунок 7 - Архітектура Моделі №3 U-Net з остаточними блоками (residual) та нормалізацією

Результати:

Ассурасу: Найвища точність на тренувальних даних досягнута у останньому епоці, близько 67.65%.

Точність: Вказує на певне покращення у визначенні класів порівняно з попередніми моделями. Проте, висока кількість помилково позитивних результатів (false positives) та помилково негативних результатів (false negatives) підкреслює потребу в додатковій оптимізації моделі.

Візуальний аналіз:

Зображення з передбаченими масками показують, що модель здатна виділяти об'єкти, але існують помилки у точності обробки країв та деталей, особливо на складних ділянках зображення.

Модель №3, яка використовує остаточні блоки з BatchNormalization та Dropout, показує здатність до поліпшення загальної точності класифікації порівняно з попередніми ітераціями. Введення Dropout допомагає уникнути перенавчання, а BatchNormalization сприяє стабілізації та прискоренню процесу навчання. Однак висока кількість помилково позитивних і помилково негативних результатів свідчить про необхідність подальшої роботи над точністю моделі, особливо в частині визначення кордонів об'єктів. На основі візуального аналізу передбачених масок можна стверджувати, що модель потребує покращення у точності сегментації, щоб досягти більш чіткого та точного виявлення об'єктів, а також для мінімізації помилкових класифікацій.

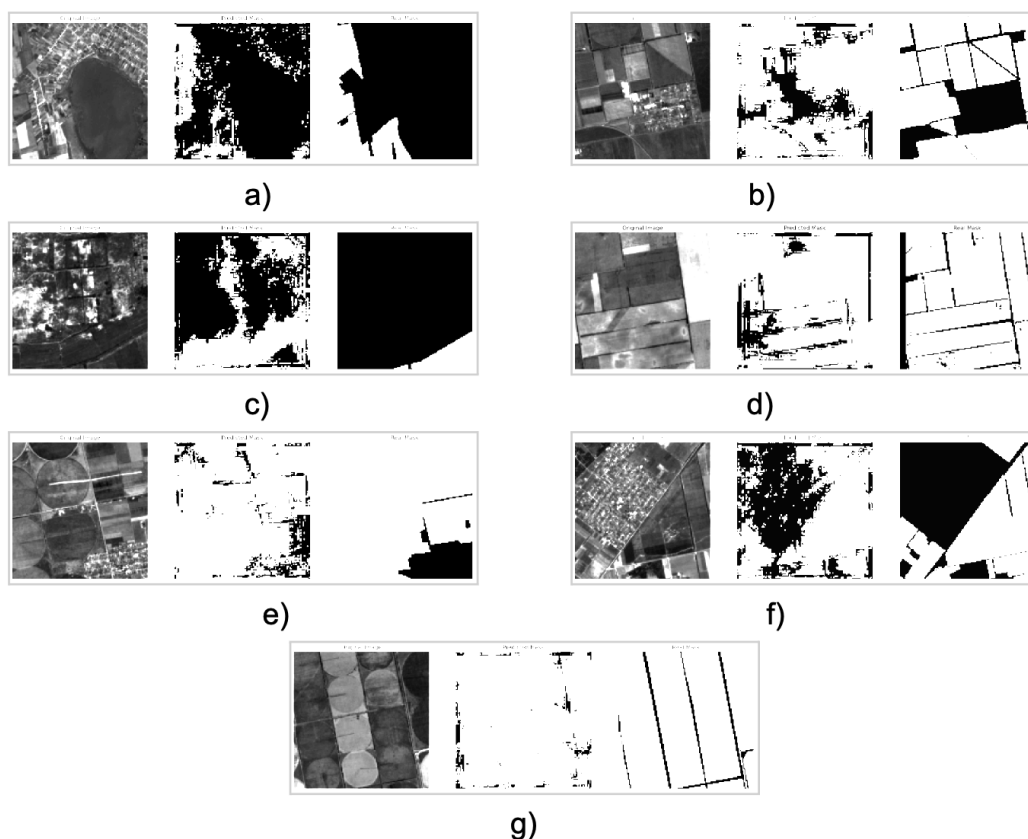


Рисунок 8 - Результат роботи моделі №3. Оригінальне зображення;
Результат маски від моделі; Реальна маска

Висновок. Аналіз різних архітектур U-Net, адаптованих до задачі семантичної сегментації аграрних угідь, підкреслив значення інноваційних підходів у покращенні точності моделей. Експерименти з остаточними блоками, нормалізацією за партіями, Dropout та іншими техніками оптимізації вказали на їх ефективність у боротьбі з перенавчанням та підвищенні загальної точності. Подальше дослідження та адаптація цих методик може принести значний внесок у розвиток точних та надійних інструментів для моніторингу аграрних угідь.

Прогрес у цій області можливий завдяки комбінації глибоких архітектур нейронних мереж зі збагаченими наборами даних та удосконаленою передобробкою даних. Враховуючи широкий спектр потенційних застосувань, важливо зосередитися на розробці моделей, здатних адаптуватися до різноманітних умов та відображати специфіку аграрних ландшафтів. Результати цього дослідження можуть слугувати основою для подальших інновацій, які підвищать точність визначення аграрних угідь та сприятимуть ефективному використанню земельних ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Jamali, A., Roy, S.K., Hashemi Beni, L., Pradhan, B., Li, J., Ghamisi, P., 2024. Residual wave vision U-Net for flood mapping using dual polarization Sentinel-1 SAR imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 127, March 2024, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103662>
2. Yoganathan, S.A., et al., 2023. Generating synthetic images from cone beam computed tomography using self-attention residual UNet for head and neck radiotherapy. *Physics and Imaging in Radiation Oncology* VOLUME 28, 100512, OCTOBER 2023. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2023.100512>.
3. Janneh, L.L., Youngjun, Z., Hydera, M., Cui, Z., 2024. Deep learning-based hybrid feature selection for the semantic segmentation of crops and weeds. *ICT Express* 10 (2024) 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2023.07.008>.
4. Ghaznavi A., Saberioon M., Brom J., Itzerott S., 2023. Comparative performance analysis of simple U-Net, residual attention U-Net, and VGG16-U-Net for inventory inland water bodies. *Applied Computing and Geosciences* 21 (2024) 100150. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2023.100150>.
5. Hnatushenko Vik., Hnatushenko Vo., Kashtan V., Heipke C., 2023: Detection of Forest Fire Consequences on Satellite Images using a Neural Network. In: Kersten T., Tilly N. (Eds.), 43. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF e.V. - München, Publikations DGPF, Vol. 31 https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2023/proceedings/paper/15_dgpf2023_Hnatushenko_et_al.pdf
6. HEIPKE C. & ROTTENSTEINER F., 2020: Deep learning for geometric and semantic tasks in photogrammetry and remote sensing. *Geo-spatial Information Science*, 23(1), 10-19, <https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1718003>
7. KAPLAN, G. & AVDAN, U., 2018: Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 42(3), 729-734, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018>.
8. KASHTAN, V. & HNATUSHENKO, V., 2023: Deep Learning Technology for Automatic Burnt Area Extraction Using Satellite High Spatial Resolution Images. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) *Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision Making. ISDMCI 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 149. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9_37.

REFERENCE

1. Jamali, A., Roy, S.K., Hashemi Beni, L., Pradhan, B., Li, J., Ghamisi, P., 2024. Residual wave vision U-Net for flood mapping using dual polarization Sentinel-1 SAR imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 127, March 2024, 103662. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.103662>
2. Yoganathan, S.A., et al., 2023. Generating synthetic images from cone beam computed tomography using self-attention residual UNet for head and neck radiotherapy. *Physics and Imaging in Radiation Oncology* VOLUME 28, 100512, OCTOBER 2023. <https://doi.org/10.1016/j.phro.2023.100512>.
3. Jannah, L.L., Youngjun, Z., Hydera, M., Cui, Z., 2024. Deep learning-based hybrid feature selection for the semantic segmentation of crops and weeds. *ICT Express* 10 (2024) 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2023.07.008>.
4. Ghaznavi A., Saberioon M., Brom J., Itzerott S., 2023. Comparative performance analysis of simple U-Net, residual attention U-Net, and VGG16-U-Net for inventory inland water bodies. *Applied Computing and Geosciences* 21 (2024) 100150. <https://doi.org/10.1016/j.acags.2023.100150>.
5. Hnatushenko Vik., Hnatushenko Vo., Kashtan V., Heipke C., 2023: Detection of Forest Fire Consequences on Satellite Images using a Neural Network. In: Kersten T., Tilly N. (Eds.), 43. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF e.V. - München, Publikations DGPF, Vol. 31 https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2023/proceedings/paper/15_dgpf2023_Hnatushenko_et_al.pdf
6. HEIPKE C. & ROTTENSTEINER F., 2020: Deep learning for geometric and semantic tasks in photogrammetry and remote sensing. *Geo-spatial Information Science*, 23(1), 10-19, <https://doi.org/10.1080/10095020.2020.1718003>
7. KAPLAN, G. & AVDAN, U., 2018: Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 42(3), 729-734, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018>.
8. KASHTAN, V. & HNATUSHENKO, V., 2023: Deep Learning Technology for Automatic Burnt Area Extraction Using Satellite High Spatial Resolution Images. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) *Lecture Notes in Data Engineering, Computational Intelligence, and Decision Making. ISDMCI 2022. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 149. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16203-9_37.

Received 07.05.2024.
Accepted 09.05.2024.

**Neural Network Approach for Segmentation
of Agricultural Lands on Satellite Images**

Precision mapping and monitoring of agricultural lands using satellite imagery have become crucial for optimizing agricultural practices. This research focuses on exploring the effectiveness of deep learning models, particularly U-Net modifications, for semantic segmentation of agricultural lands in satellite images.

Recent Studies and Publications Analysis. Recent advancements in convolutional neural networks (CNNs) have shown promising results in various semantic segmentation tasks, including medical imaging, flood mapping, and environmental monitoring. Studies such as "Residual wave vision U-Net for flood mapping using dual polarization Sentinel-1 SAR imagery" and "Deep learning-based hybrid feature selection for the semantic segmentation of crops and weeds" underline the adaptability of U-Net architectures to diverse data characteristics, motivating their application in agricultural land segmentation.

Research Objective. The primary aim of this study is to assess the applicability and efficiency of modified U-Net architectures in accurately segmenting agricultural lands from satellite images. It seeks to identify optimal model modifications that enhance segmentation accuracy while maintaining computational efficiency, contributing to more effective agricultural monitoring.

Main Body of Research. Utilizing satellite images from the Copernicus HUB archive, this work experiments with various U-Net architectures incorporating residual blocks, normalization methods, and regularization techniques. The study compares the performance of these models in segmenting agricultural lands, highlighting the impact of architectural enhancements on improving model precision and generalization capabilities.

Conclusions. The research concludes that specific modifications in the U-Net architecture significantly enhance the segmentation accuracy of agricultural lands in satellite images. Implementing residual blocks, batch normalization, and dropout proved effective in overcoming overfitting, suggesting a promising direction for future work in geospatial data processing for agriculture. Further investigation into hyperparameter tuning, dataset expansion, and ensemble methods is recommended to refine the models' predictive performance.

Keywords: semantic segmentation, agricultural lands, satellite images, deep learning, U-Net architecture, geodata.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технології (м. Дніпро).

Гончаров Олександр Геннадійович – аспірант кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технології (м. Дніпро).

Шевцова Ольга Сергіївна - аспірантка кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

Hnatushenko Viktoriia – Doctor of engineering's sciences, Professor, Head of Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

Honcharov Oleksandr – Postgraduate Student, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

Shevtsova Olha - Postgraduate Student, Department of Computer Systems Software, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine.

М.С. Міщенко, Вік. В. Гнатушенко, А.В. Сінгер

КЛАСИФІКАЦІЯ ЕКООБ'ЄКТІВ НА СУПУТНИКОВИХ ЗОБРАЖЕННЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ PYTORCH

Анотація. У статті наведена практична реалізація алгоритму класифікації екооб'єктів на супутникових зображеннях з використанням бібліотеки глибинного навчання PyTorch. Метою дослідження є підвищення якості класифікації об'єктів на цифрових зображеннях завдяки розробці та використанню моделі нейронної мережі.

Запропонований підхід дозволяє класифікувати воду, піски, хмари та зелену місцевість на супутникових знімках, полегшуючи аналіз великих обсягів даних та отримано середню точність 95%. Його було протестовано на супутникових знімках Sentinel 2, отриманих з березня по серпень 2023 року для деяких частин Херсонської та Миколаївської областей, Україна. Для навчання моделі використовується попередньо натренована архітектура ResNet.

Представлене дослідження демонструє практичне використання сучасних методів глибинного навчання, зокрема бібліотеки PyTorch, для вирішення актуальних завдань аналізу та класифікації об'єктів на супутникових знімках.

Ключові слова: нейронна мережа, супутникове зображення, розпізнавання, глибинне навчання, PyTorch.

Вступ. Аналіз і класифікація супутникових зображень є важливою задачею в таких галузях, як дистанційне зондування Землі, моніторинг навколишнього середовища, картографія та розвідка [1, 2]. З розвитком супутникових систем та збільшенням обсягів зібраних даних постає нагальна потреба в ефективних інструментах для автоматизованої обробки та інтерпретації цих величезних масивів візуальних даних [3].

Завдяки стрімкому прогресу в галузі машинного навчання та нейронних мереж, методи глибинного навчання продемонстрували видатні результати в різноманітних задачах комп'ютерного зору, включно з класифікацією зображень. Зокрема, бібліотеки глибинного навчання, такі як PyTorch, значно спрощують розробку та впровадження потужних моделей класифікації для обробки супутникових зображень.

У цій статті ми розглядаємо практичну реалізацію задачі класифікації супутникових зображень на чотири класи: вода, піски, хмари та зелена місцевість. Представлено процес підготовки даних та навчання моделі нейронної мережі з використанням бібліотеки PyTorch. Особливу увагу приділено аналізу продуктивності моделі для кожного окремого класу, що дозволяє виявити можливі проблеми та шляхи для подальшого вдосконалення.

Постановка проблеми. Зі зростаючим обсягом зібраних супутникових даних постає нагальна потреба в ефективних методах автоматизованої класифікації та інтерпретації супутникових знімків. Розробка точних і надійних моделей класифікації зображень на основі глибинного навчання є актуальною проблемою, яка дозволить спростити аналіз величезних масивів супутникових даних.

Аналіз останніх досліджень. У останні роки методи глибинного навчання, зокрема згорткові нейронні мережі (CNN), довели свою ефективність у задачах класифікації зображень різного походження. Дослідники активно застосовують ці підходи для аналізу аерокосмічних знімків, отриманих з безпілотних літальних апаратів, супутників та інших джерел дистанційного зондування.

Низка досліджень була присвячена класифікації різних типів земного покриття, таких як водойми, міські території, ліси та сільськогосподарські угіддя. Зокрема, у роботі “Deep learning based roof type classification using very high resolution aerial imagery” [4] автори досягли високої точності класифікації за допомогою архітектури VGGNet, попередньо натренованої на наборі ImageNet. В іншому дослідженні “Land-cover classification with high-resolution remote sensing images using transferable deep models” [5] використовувалася модель ResNet з трансферним навчанням для картографування земного покриття на основі супутникових знімків високої роздільної здатності.

Варто відзначити, що більшість існуючих досліджень зосереджені на класифікації зображень окремих регіонів чи територій. Питання створення універсальних моделей, здатних обробляти супутникові знімки з різних джерел та з різними умовами зйомки, залишається відкритим і потребує подальших досліджень.

Викладення основного матеріалу. Класифікація супутникових зображень є важливим завданням у галузі дистанційного зондування Землі та аналізу супутникових даних. Воно полягає у визначенні типу земного покриття (вода, пустеля, ліси, міські території тощо) на основі знімків, отриманих з космосу.

Точна класифікація дозволяє отримувати цінну інформацію про навколишнє середовище, сільськогосподарські угіддя, лісові масиви, міську інфраструктуру та багато іншого, що має практичне значення у картографії, моніторингу змін клімату, плануванні територій, розвідці та інших сферах.

PyTorch - це популярна open-source бібліотека машинного навчання, орієнтована на розробку та тренування моделей глибокого навчання, включаючи згорткові нейронні мережі. Вона забезпечує зручний та гнучкий інструментарій для використання нейронних мереж, навчання моделей на наборах даних, оптимізації параметрів та виведення результатів [6].

Завдяки потужності та ефективності бібліотеки PyTorch, вона успішно використовується для вирішення задач класифікації супутникових знімків. Основні переваги PyTorch у цьому контексті:

- Побудова складних згорткових нейронних мереж, здатних ефективно виявляти та розпізнавати патерни на супутникових зображеннях.
- Використання трансферного навчання, коли попередньо натреновані на великих наборах даних моделі можуть бути адаптовані до специфічної задачі класифікації земного покриття.
- Гнучке визначення функцій втрат, метрик точності та оптимізаторів для ефективного навчання моделей.
- Навчання на GPU, використовуючи CUDA Toolkit від NVIDIA, для пришвидшення процесу.
- Широкий вибір вбудованих інструментів для передобробки даних, аугментації зображень та візуалізації результатів.
- Інтеграція з бібліотеками обробки зображень.

Таким чином, PyTorch є потужним інструментом для розробки систем глибокого навчання для аналізу та класифікації супутникових зображень, що може мати широке практичне застосування в різноманітних галузях.

Класифікація супутникових зображень за допомогою PyTorch. Для вирішення поставленої задачі класифікації супутникових знімків, використовувалась бібліотека глибокого навчання PyTorch. На вхід моделі подавався набір зображень, розділених на чотири класи: вода, піски, хмари та зелена місцевість. Мета - навчити модель класифікувати зображення відповідно до цих категорій з максимальною ймовірністю.

Підготовка даних – це один з ключових етапів. На вхід нейронної мережі завантажувалось по 500 зображень для кожного класу. Для навчальних даних було застосовано різноманітні трансформації та аугментації, такі як зміна ро-

змірів, обертання, відбиття та додавання гаусового шуму [7, 1]. Це дозволило збільшити різноманітність даних і покращити здатність моделі розпізнавати. Для валідаційних даних, застосовувалось лише зміна розмірів зображень.

```
train_transform = transforms.Compose([
    transforms.Resize(224),
    transforms.RandomHorizontalFlip(p=0.5),
    transforms.RandomVerticalFlip(p=0.5),
    transforms.GaussianBlur(kernel_size=(5, 9), sigma=(0.1,
5)),
    transforms.RandomRotation(degrees=(30, 70)),
    transforms.ToTensor(),
    transforms.Normalize(
        mean=[0.485, 0.456, 0.406],
        std=[0.229, 0.224, 0.225]
    )
])

valid_transform = transforms.Compose([
    transforms.Resize((224, 224)),
    transforms.ToTensor(),
    transforms.Normalize(
        mean=[0.485, 0.456, 0.406],
        std=[0.229, 0.224, 0.225]
    )
])
```

Лістинг 1 – Трансформування даних для навчання та валідації

В якості архітектури нейронної мережі, для експерименту, обрано попередньо натреновану на ImageNet модель ResNet. Останній класифікаційний шар моделі змінено відповідно до кількості класів, у нашій задачі до чотирьох. Такий підхід навчання дозволяє ефективно використовувати ваги, отримані на великих наборах даних, і адаптувати модель до специфічних задач.

```
import torch
import argparse
import torch.nn as nn
import torch.optim as optim

from model import build_model
from utils import save_model, save_plots
from datasets import train_loader, valid_loader, dataset
from tqdm.auto import tqdm
```

```
parser = argparse.ArgumentParser()

parser.add_argument('-e', '--epochs', type=int, default=50,
                    help='number of epochs to train our network')
args = vars(parser.parse_args())
```

Лістинг 2 – Скрипт тренування моделі

Для процесу навчання достатньо 50-100 епох з використанням оптимізатора Adam та функції втрат Cross Entropy. Після кожної епохи було обчислено метрики точності та втрат як для навчальних, так і для валідаційних даних. Окремо була розрахована точність класифікації для кожного класу, що дозволило виявити проблеми з розпізнаванням певних типів земного покриття.

```
optimizer = optim.Adam(model.parameters(), lr=lr)
criterion = nn.CrossEntropyLoss()
```

Лістинг 3 – використання оптимізатора Adam та функції Cross Entropy у скрипті тренування train.py

При вищевказаних налаштуваннях, тестові результати навчання продемонстрували високу загальну точність моделі - близько 95% на валідаційному наборі даних. Проте, можна очікувати, що точність класифікації для класів "зелена місцевість" та "вода" буде дещо нижчою, ніж для "піски" та "хмар". Це може бути пов'язано з меншою кількістю навчальних зразків для цих класів, а також з більшою схожістю зображень зелених територій та водойм.

```
Accuracy of class clouds: 95.63536177491962
Accuracy of class desert: 96.8609865470852
Accuracy of class green_area: 89.43661971830986
Accuracy of class water: 94.48051948051948
```

Лістинг 4 – Виведення даних про точність

Висновки. У статті наведено підхід до реалізації задачі класифікації супутникових зображень з використанням бібліотеки глибокого навчання PyTorch. Запропонована модель, побудована на основі попередньо натренованої архітектури ResNet, яка досягає високої загальної точності у розпізнаванні чотирьох категорій земного покриття: води – 94.48%, пісків – 96.86%, хмарного покриття – 95.63% та зелених зон – 89.43%.

Ключовими факторами, що роблять цей підхід ефективним, є: ретельна підготовка навчальних даних із застосуванням різноманітних трансформацій та використання сучасних методів оптимізації під час тренування моделі. Завдяки можливостям PyTorch зручно реалізовано всі необхідні компоненти від завантаження даних до визначення архітектури нейронної мережі.

Подальші напрямки вдосконалення можуть включати збільшення та диверсифікацію навчального набору даних, експерименти з іншими архітектурами нейронних мереж, застосування додаткових методів оптимізації. Крім того, інтеграція з додатковими джерелами даних, такими як метадані зйомки чи інформація про висоту, може потенційно покращити точність класифікації.

Отримані результати демонструють потужність та потенціал застосування бібліотеки PyTorch у поєднанні з методами глибинного навчання для вирішення складних завдань класифікації супутникових зображень. Такий підхід може знайти широке застосування у різноманітних галузях картографії, моніторингу навколишнього середовища та розвідки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hnatushenko, Vi., Hnatushenko, Vo., Soldatenko, D., Heipke, C. (2023): Enhancing the quality of CNN-based burned area detection in satellite imagery through data augmentation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-1/W2-2023, 1749–1755. doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-1749-2023.
2. Ortega, M. X., Wittich, D., Rottensteiner, F., Heipke, C., Feitosa, R. Q., 2023. Using time series image data to improve the generalization capabilities of a CNN - The example of deforestation detection with Sentinel-2. In: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences X-1/W1-2023*, pp. 961–970. doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-961-2023
3. KAPLAN, G. &AVDAN, U., 2018: Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLII-3. 729-734. 10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018.
4. Buyukdemircioglu, M., R. Can, and S. Kocaman. "Deep learning based roof type classification using very high resolution aerial imagery." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 43 (2021): 55-60.
5. Tong, Xin-Yi, et al. "Land-cover classification with high-resolution remote sensing images using transferable deep models." *Remote Sensing of Environment* 237 (2020): 111322.

6. Zhou, Yue, et al. "Mmrotate: A rotated object detection benchmark using pytorch." Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia. 2022.
7. Wu, Sen, et al. "On the generalization effects of linear transformations in data augmentation." International Conference on Machine Learning. PMLR, 2020.

REFERENCES

1. Hnatushenko, Vi., Hnatushenko, Vo., Soldatenko, D., Heipke, C. (2023): Enhancing the quality of CNN-based burned area detection in satellite imagery through data augmentation. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLVIII-1/W2-2023, 1749–1755. doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-W2-2023-1749-2023.
2. Ortega, M. X., Wittich, D., Rottensteiner, F. , Heipke, C., Feitosa, R. Q., 2023. Using time series image data to improve the generalization capabilities of a CNN - The example of deforestation detection with Sentinel-2. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences X-1/W1-2023, pp. 961–970. doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-961-2023
3. KAPLAN, G. &AVDAN, U., 2018: Sentinel-1 and Sentinel-2 Data fusion for wetlands mapping: Balikdami, Turkey. ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XLII-3. 729-734. 10.5194/isprs-archives-XLII-3-729-2018.
4. Buyukdemircioglu, M., R. Can, and S. Kocaman. "Deep learning based roof type classification using very high resolution aerial imagery." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 43 (2021): 55-60.
5. Tong, Xin-Yi, et al. "Land-cover classification with high-resolution remote sensing images using transferable deep models." Remote Sensing of Environment 237 (2020): 111322.
6. Zhou, Yue, et al. "Mmrotate: A rotated object detection benchmark using pytorch." Proceedings of the 30th ACM International Conference on Multimedia. 2022.
7. Wu, Sen, et al. "On the generalization effects of linear transformations in data augmentation." International Conference on Machine Learning. PMLR, 2020.

Received 09.05.2024.

Accepted 13.05.2024.

Implementation of satellite image classification using PyTorch

This article presents a practical implementation of the satellite image classification task using the PyTorch deep learning library. The aim of the work is to develop a neural network model capable of classifying satellite images into four classes: water, sands, clouds, and greenery.

The model is trained using the pre-trained ResNet architecture.

The proposed approach allows for automatic classification of satellite images, facilitating the analysis of large amounts of data, and has been tested on Sentinel-2 satellite images acquired from March to August 2023 for parts of Kherson and Mykolaiv regions, Ukraine, and achieved an average accuracy of 95%.

The presented research demonstrates the practical use of modern deep learning methods, in particular the PyTorch library, to solve actual problems of satellite image analysis and classification.

Міщенко Максим Станіславович - аспірант кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Гнатушенко Вікторія Володимирівна - д.т.н., професор, завідувача кафедрою інформаційних технологій і систем, Український державний університет науки і технологій.

Сінгер Анастасія-Джей Володимирівна - студентка кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Mishchenko Maksym - Postgraduate Student, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

Hnatushenko Viktoriia - Doctor of Engineering's Sciences, Professor, Head of Department of information technology and systems of the Ukrainian state University of science and technologies.

Sinher Anastasiia-Dzhei - Student, Department of Information Technologies and Systems, Ukrainian State University of Science and Technology.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ ЗІТКНЕНЬ У ТРИВИМІРНИХ ВІРТУАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Annotation. The relevance of the research topic lies in the significant computational challenge posed by real time collision detection in virtual environments, often consuming up to 50% of execution time in some cases, or even more. In real world simulations, three dimensional prototypes can be highly complex, containing thousands of primitives. Therefore, developing collision detection algorithms in real time for complex environments remains a relevant scientific problem. Maintaining a frame rate of at least 30 FPS is crucial for creating a user friendly simulator in such environments.

The problem of collision detection in virtual environments becomes even more intricate during the narrow phase. The broad phase of collision detection is responsible for discarding pairs of objects that will not collide due to a sufficiently large distance between them. The narrow phase determines whether two objects collide when the distance between them allows for such a possibility.

This article describes a collision detection algorithm based on the structure of R trees of axis aligned bounding boxes (AABBs) and utilizes the oriented bounding box intersection (OAABB) method to address the narrow phase of collision detection, which finds intersections between two objects. Experimental results demonstrate that the algorithm presented in this article identifies intersections with significant interaction speeds.

Experimental results demonstrate that the algorithm presented in this article identifies intersections with significant interaction speeds.

Ключові слова: collision detection, 3D gaming algorithms, computer graphics, R trees, bounding boxes, performance benchmark, innovations, model processing.

Постановка проблеми. При виявленні зіткнень у віртуальних середовищах виникає проблема великого обсягу обчислень, що може забирати 50% часу виконання та більше. У складних тривимірних симуляціях, які містять тисячі примітивів, розробка алгоритмів виявлення зіткнень у реальному часі залишається актуальною науковою проблемою. Досягнення частоти кадрів принаймні 30 FPS є важливим для створення зручних для користувача симуляторів. Виявлення зіткнень звичайно складається з двох фаз: широкої та

вузької. Широка фаза відповідає за відкидання пар об'єктів, які не зіткнуться через достатньо велику відстань, тоді як вузька фаза визначає зіткнення, коли об'єкти достатньо близько. Очевидно, ускладнення настає під час вузької фази виявлення зіткнень. У даній роботі представлено алгоритм виявлення зіткнень, що використовує структуру R-дерев орієнтованих обмежуючих паралелепіпедів (AABB) та метод перетину орієнтованих обмежуючих паралелепіпедів (OAABB) для вирішення вузької фази виявлення зіткнень. Експериментальні результати демонструють ефективність алгоритму у виявленні перетинів зі значними швидкостями взаємодії.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує кілька загальнодоступних наборів інструментів для вирішення вузької фази виявлення зіткнень на основі ієрархій обмежуючих об'ємів. Вони відрізняються типом реалізованого об'єму обмеження. Наприклад, SOLID та OPCODE використовують орієнтовані паралелепіпеди (AABB). RAPID, V-COLLIDE, PQP, H-COLLIDE використовують орієнтовані обмежуючі паралелепіпеди (OBB). QuickCD та DorTree використовують k-dops; а Swift++ використовує опуклі оболонки (CH). Також існують гібридні підходи, наприклад QuOSPOs, які використовують комбінацію OBB та k-dops [1].

Порівняти різні підходи досить складно, оскільки продуктивність також залежить від форм моделей, типу контакту, розміру моделей і інших факторів. У знаходженні зіткнень різних видів обмежуючих об'ємів використовуються різноманітні алгоритми, що залежать від конкретних вимог і характеристик задачі. Основними перевагами різних підходів є їх швидкодія та точність, а також можливість оновлення обмежуючих об'ємів при русі об'єктів. Такі алгоритми є важливою складовою в розробці віртуальних середовищ та ігрових додатків, де точне виявлення зіткнень відіграє вирішальну роль.

У знаходженні зіткнень між двома тривимірними об'єктами часто використовують ієрархії обмежувальних об'ємів (Bounding Volume Hierarchies, BVH), які організовують тріангульовані дані об'єкта. Таким чином, продуктивність поліпшується за рахунок зменшення кількості пар тестів за допомогою використання обмежуючих об'ємів [2].

Припустимо, що обмежувальні об'єми двох об'єктів організовані у двох ієрархічних деревах обмежуючих об'ємів (BV) A та B. Класична схема ієрархічного виявлення зіткнень - це одночасне рекурсивне обходження двох дерев обмежуючих об'ємів A та B [3]. Це може бути описано алгоритмом, наведеним у лістингу 1 за допомогою псевдокоду.

Лістинг 1. Типова ієрархічна схема обходу для виявлення зіткнень між об'єктами

ОбхідДерев (A, B)

Перевести обмежуючий об'єм B у систему координат A

якщо A та B не перетинаються, то

повернути пусту множину

якщо A та B є листками, то

перевести трикутник B у систему координат A

повернути перетин трикутників, що обмежені A та B

інакше

якщо A є листком і B – внутрішнім вузлом, то

для всіх дітей B[i]

ОбхідДерев (A, B[i])

інакше

якщо A є внутрішнім вузлом і B – листком, то

для всіх дітей A[i]

ОбхідДерев (A[i], B)

інакше

для всіх дітей A[i] та B[j]

ОбхідДерев (A[i], B[j])

Однак Захман та Кніттель виявили деякі проблеми у традиційному обході. Зокрема, вони показали, що декілька вузлів у деревах ієрархії A та B відвідуються більше одного разу. Друга проблема полягає в тому, що вузли дерева обмежуючих об'ємів B, наприклад, повинні бути перетворені в локальну систему координат A. Як наслідок першої проблеми, це перетворення повторюється декілька разів для того самого вузла, що знижує продуктивність [4]. Алгоритм, представлений у даній роботі, вирішує ці проблеми.

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка ефективного алгоритму для виявлення зіткнень у реальному часі у віртуальних середовищах.

Основна частина. У цьому розділі представлено деталі реалізації ідей авторів для визначення перетинів поверхонь і трикутників для пари тривимірних об'єктів. Для застосувань у віртуальному середовищі тривимірні об'єкти можуть бути визначені як колекція поверхонь, де кожна поверхня індивідуально представлена як колекція трикутників.

Час виявлення зіткнень між двома об'єктами за допомогою BVH залежить від: (1) вартості перетину та оновлення обмежуючих об'ємів; (2) вартості перетину трикутників; та (3) кількості таких операцій.

Підхід, представлений у роботі, підтримується ієрархіями R-дерев орієнтованих обмежуючих паралелепіпедів та перетином орієнтованих обмежуючих паралелепіпедів, щоб зменшити вартість та кількість операцій оновлення та перетину, тим самим покращуючи продуктивність. Вибір типу об'єму обмежень впливає на продуктивність процесу виявлення зіткнень. А використання орієнтованих паралелепіпедів обумовлено тим, що вони швидше перетинаються.

Було вирішено використовувати R-дерева для побудови ієрархій обмежуючих об'ємів та організації тривимірної геометрії об'єктів для покращення продуктивності процесу виявлення зіткнень. R-дерева є хорошим вибором для виявлення зіткнень, оскільки, по-перше, на будь-якому рівні дерева кожний примітив асоційований лише з одним вузлом. По-друге, в R-дереві всі листки знаходяться на одному рівні. По-третє, оскільки глибина R-дерева, що зберігає n примітивів, дорівнює $\log_m n$, де m – мінімальна кількість дітей вузла [5].

Для прискорення процесу виявлення зіткнень кожен об'єкт представлений структурою даних R-дерева у власній локальній системі координат (рисунок 1). Будується ієрархічне дерево, групуючи сусідні поверхні. Листки R-дерева вказують на геометрію поверхонь, які визначають об'єкт. Для двох об'єктів перевіряється зіткнення між поверхнями, які знаходяться в сусідніх зонах, уникаючи порівнянь з тими, які знаходяться далеко.

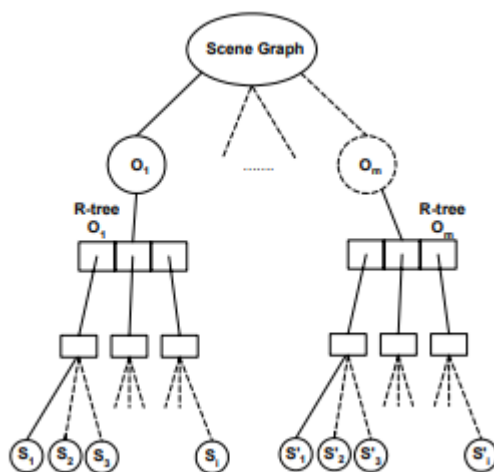


Рисунок 1 - Кожен об'єкт графа сцени представлено R-деревом для організації його поверхонь

Поверхні тривимірної моделі можуть бути складними. Вони можуть містити велику кількість трикутників. З цієї причини реалізація, описана у роботі, також використовує R-дерево для просторової організації трикутників

(рисунок 2), що допоможе швидше відхилити трикутники, які гарантовано не можуть перетинатися. У цьому підході для кожної поверхні обчислюється R-дерево, групуючи сусідні трикутники, для уникнення порівнянь з такими, що знаходяться далеко від зони перетину.

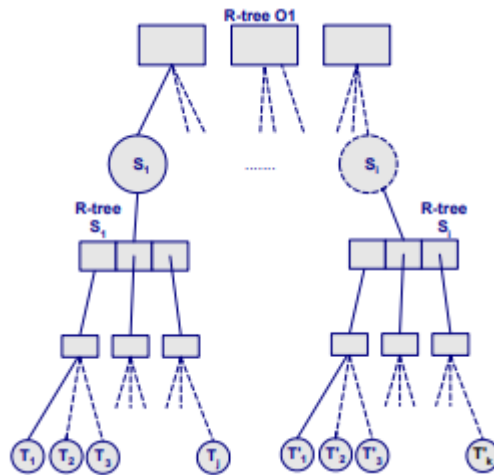


Рисунок 2 - Кожна поверхня 3D-моделі також представлена структурою даних R-дерево для просторової організації її трикутників

Запропонований алгоритм також ґрунтується на використанні перетинів орієнтованих обмежуючих паралелепіпедів (Overlapping Axis-Aligned Bounding Box, OAABB) (A, B), двох геометричних примітивів для покращення продуктивності процесу виявлення зіткнень. OAABB визначається як об'єм, який є спільним для двох орієнтованих обмежуючих паралелепіпедів A та B. OAABB використовується для відфільтрування примітивів, які не можуть перетинатися. Розглянемо приклад на рисунку 3. Поверхня S_2 об'єкта A не може перетинатися з об'єктом B, оскільки вона не перетинає OAABB. Таким чином, можливо швидко відфільтрувати всі поверхні обох об'єктів, які не перетинають OAABB.

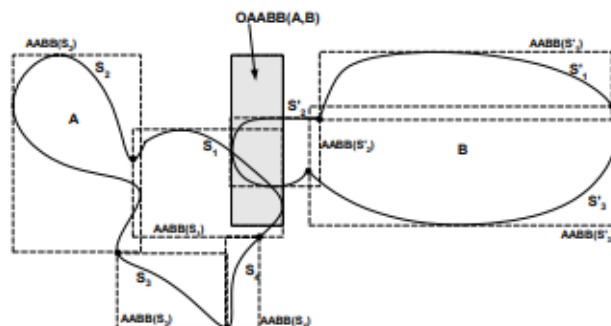


Рисунок 3 - Обмежувальна рамка з вирівнюванням по осі, що перекривається (OAABB), концепція показана в 2D

Алгоритм для пошуку поверхонь, що перетинаються, представлений у лістингу 2 у вигляді псевдокоду.

Лістинг 2. Алгоритм для знаходження поверхонь та трикутників, що перетинаються.

```
ПошукЗіткнень (A, B)
1:  $AABV_B(A) = M_{B_A} \times AABV_A(A)$  // оновлення координатної системи BV
2: Якщо ( $AABV_B(A)$  не перетинається з  $AABV_B(B)$ ) вихід
3: Визначити  $OABV_B(A, B)$ 
4: Обхід R-дерева ( $SBV(B), OABV_B(A, B)$ )
5: Для кожної поверхні з  $SBV(B)$ , що перетинає  $OABV_B(A, B)$ 
6:         Обхід R-дерева ( $TBV(B), OABV_B(A, B)$ )
7:         Для кожного трикутника  $T(B)$  з  $TBV(B)$ , що перетинає  $OABV_B(A, B)$ 
8:                 Перенести геометрію трикутника  $T(B)$  в систему координат A
9:                 Обчислити новий оптимальний  $AABV_A(T(B))$  для  $T(B)$ 
10:                Обхід R-дерева ( $SBV(A), AABV_A(T(B))$ )
11:                Для кожної поверхні з  $SBV(A)$ 
12:                        Обхід R-дерева ( $TBV(A), AABV_A(T(B))$ )
13:                        Перетин  $T(A)$  та  $T(B)$ 
```

Процес виявлення зіткнень спочатку перевіряє, чи об'єкти A і B є відокремленими (рядки 1-2 у лістингу 2). Об'ємні обмеження кожного об'єкта спочатку обчислюються у локальній системі координат об'єкта, $AABV_A(A)$ та $AABV_B(B)$ відповідно. Матриця трансформації, що перетворює локальне представлення об'єкта A у локальну систему координат об'єкта B, визначена як M_{B_A} . Обмежуючий об'єм об'єкта A оновлюється до системи координат об'єкта B, обчислюючи обмежуючий об'єм $AABV_B(A)$. Якщо ця пара $AABV$ не перетинається, тоді відповідні два об'єкти не перетинаються, і процес завершується. Якщо вони перетинаються, то система визначає орієнтований обмежуючий паралелепіпед перетину, $OABV_B(A, B)$ двох об'єктів (рядок 3 у лістингу 2), який визначений у локальній системі координат об'єкта B.

Наступним кроком процесу виявлення зіткнень є визначення поверхонь об'єкта B, що перетинають $OABV_B$ (рядок 4 у лістингу 2). Як вже зазначалося, поверхні об'єкта B організовані в дереві поверхневих об'ємів, яке називається $SBV(B)$. Поверхні B зберігаються в листках дерева $SBV(B)$. За допомогою обходу цього дерева в глибину, фільтруються поверхні об'єкта B, які не перети-

нають $OAABV_B(A,B)$. Лише поверхні у листках, що перетинають $OAABV_B(A,B)$, є кандидатами на зіткнення [6].

Кожна поверхня об'єкта В представлена колекцією трикутників. Трикутники кожної поверхні також представлені у власній структурі даних дерева трикутникових обмежень, організуючи їх у підрегіони. Наступний крок процесу виявлення зіткнень полягає в обчисленні дерева трикутникових обмежень $TBV(B)$ кожної кандидатної поверхні об'єкта В (рядки 5 і 6 у лістингу 2). На цьому етапі визначаються трикутники об'єкта В, що перетинають $OAABV$.

Використовуючи $OAABV$, менеджер виявлення зіткнень фільтрує поверхні та трикутники об'єкта В, які не можуть перетинатися.

Трикутники об'єкта В, які перетинають $OAABV$, перетворюються у систему координат об'єкта А (рядок 8). На цьому етапі також визначається оптимальний обмежуючий об'єм трикутника (рядок 9). Новий оптимальний $AABV$ будується шляхом обчислення нових мінімальних і максимальних значень по осях x , y та z , визначаючи нові розміри обмежуючого об'єму. Цей етап обчислює оптимальний обмежуючий об'єм, оскільки він є швидшим, ніж обчислення мінімального $AABV$. Крім того, оптимальний $AABV$ краще обмежує трикутник, ніж мінімальний $AABV$.

Потім процес виявлення зіткнень спускається до дерева поверхневих обмежень $SBV(A)$ для об'єкта А (рядок 10 у лістингу 2). На цьому етапі він знаходить поверхні об'єкта А, що перетинають оптимальне $AABV_A(T(B))$ трикутника об'єкта В.

Щоб визначити, чи перетинається пара поверхонь, необхідно знайти пару трикутників, що перетинаються. Потім процес виявлення зіткнень переходить до дерева трикутникових обмежень $TBV(A)$ кожної кандидатної поверхні об'єкта А (рядки 11 і 12 у лістингу 2). На цьому етапі визначаються трикутники об'єкта А, об'ємні обмеження яких перетинають оптимальне $AABV$ об'єкта В.

Останнім кроком є продовження перетину між парами кандидатних трикутників (рядок 13), реалізоване за допомогою алгоритму Guige, P. and Devillers [7]. Якщо є пара трикутників що перетинаються, то відповідні поверхні перетинаються.

Результати експерименту. У цьому розділі представлені результати оцінки продуктивності запропонованого алгоритму виявлення зіткнень.

Представлено приклад моделювання процесу на підприємстві. Усі експерименти, описані в наступних абзацах, виконувалися на процесорі Intel Core i5-8300H, з об'ємом оперативної пам'яті 16 Гбайт при тактовій частоті 4 ГГц.

Розглядається реальний застосунок з обслуговування віртуальних середовищ. На рисунку 5 представлено скріншот з додатку Siemens Kineo software [8], який симулює діяльність 6-осевого робота по відвантаженню товару. Siemens Kineo був використаний в якості симулятора, для можливості завантаження моделі до 3D сцени, яку згодом можна буде конвертувати в набір трикутників і протестувати швидкодію розробленого алгоритму. Наступний приклад використовується для тестування виявлення зіткнень в віртуальних середовищах, де важливо знаходити деталі, що перетинаються з іншими, щоб скоригувати сценарій поведінки для фізичного робота. Даний сценарій має загальну кількість 28 деталей, 2252 поверхні і 30535 трикутників.

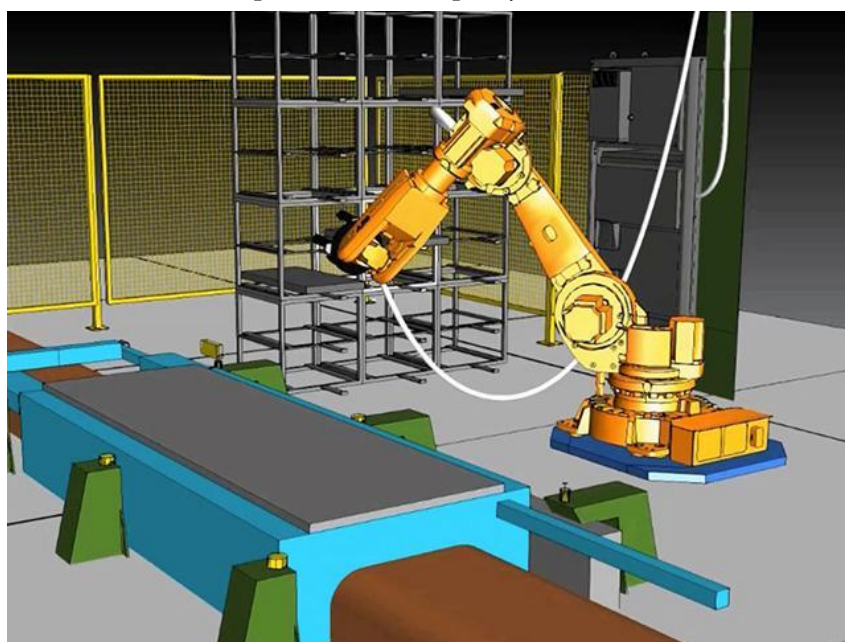


Рисунок 5 - 3D симуляція вантажного 6-осевого робота

Запропонований алгоритм виявлення зіткнень досягає інтерактивних показників у реальних промислових застосуваннях, як це було бажано.

У таблиці 1 для порівняння наводяться часові показники, отримані авторами за двома підходами: з використанням перетинаючого орієнтованого обмежуючого паралелепіпеда (OAABB) та без нього. Відзначається значне покращення продуктивності саме при використанні перетинаючого орієнтованого обмежуючого паралелепіпеда.

Таблиця 1

Час виявлення зіткнень для знаходження поверхонь, що перетинаються,
для процесу виробництва, у мілісекундах

Час у мілісекундах для визначення		
Використання ОААВВ	Так	Ні
(1) перша поверхня, що перетинається	0.04	0.17
(2) усі поверхні, що перетинаються	0.068	1.65
(3) всі поверхні та трикутники, що перетинаються	1.04	1.9

Це покращення пояснюється за допомогою даних, наведених у таблиці 2. Вартість виявлення зіткнень залежить від кількох чинників. Вибір типу об'ємного обмеження впливає на кількість та вартість виконання перетинів об'ємних обмежень. Для ААВВ та k-dops вартість та кількість оновлення об'ємних обмежень також впливають на продуктивність. Таблиця 2 показує ефективне зменшення кількості тестів ААВВ та операцій оновлення об'ємних обмежень, що пояснює кращу продуктивність, отриману за допомогою ОААВВ.

Таблиця 2

Середня кількість операцій на крок для визначення перетинів

Кількість операцій	Перший трикутник		Всі трикутники	
Використання ОААВВ	Так	Ні	Так	Ні
ААВВ тести	1523	3251	18324	34526
ААВВ оновлення	145	816	631	4125

Також важливо порівняти продуктивність цього алгоритму з іншими інструментами виявлення зіткнень. У таблиці 3 представлено порівняння реалізації запропонованого алгоритму (в таблиці позначений як ПошукЗіткнень) з алгоритмами PQP, RAPID, OPCODE та Dop Tree алгоритмами. Представлені результати були отримані при визначенні першого трикутника, що перетинається, а також для всіх трикутників, що перетинаються. Таблиця 3 свідчить про те, що розроблений алгоритм є ефективним у визначенні перетинів.

Час пошуку перетинів для розробленого алгоритму
та його порівняння з іншими методами

Час на пошук перетинів (мілісекунди)	Перший трикутник	Всі трикутники
PQP	0.55	5.17
RAPID	0.12	3.87
Dop Tree	0.06	18.25
OPCODE	1.64	2.54
ПошукЗіткнень	0.15	1.56

Висновки. У роботі представлено новий алгоритм виявлення зіткнень, який обчислює поверхні та трикутники, що перетинаються, вирішуючи проблему вузької фази виявлення зіткнень.

Описано використання R-дерев та ОААВВ для реалізації ефективного методу знаходження зіткнень в реальному часі для застосунків віртуальної реальності.

Алгоритм виявлення зіткнень, що представлений у роботі, використовує орієнтовані обмежуючі паралелепіпеди разом зі структурою R-дерева, щоб відфільтрувати обмежуючі об'єми примітивів, які не можуть перетинатися. Два примітиви перетинаються, якщо відповідні обмежуючі об'єми також перетинаються з ОААВВ. Представлений алгоритм обходу зменшує кількість відвідувань вузлів до одного для об'єкта А, покращуючи загальну продуктивність та вирішуючи проблеми кількох відвідувань, що притаманні традиційній схемі обходу. ОААВВ також сприяє значному зменшенню кількості операцій оновлення обмежуючих об'ємів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Огляд алгоритмів розпізнання зіткнень 3Д об'єктів. Режим доступу: <https://www.inesc-id.pt/ficheiros/publicacoes/7101.pdf>
2. Алгоритми розпізнання зіткнень широкої фази. Режим доступу: https://d2l.ai/chapter_computer-vision/bounding-box.html
3. Класична схема ієрархічного виявлення зіткнень. Режим доступу: https://cgvr.cs.uni-bremen.de/papers/wscg03/wscg_ext.pdf
4. [Zachmann03] G. Zachman, and G. Knittel, "An Architecture for Hierarchical Collision Detection," Proceedings of WSCG' 2003, the 11th International Conference in

Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2003, Czech Republic, 2003.

5. Ефективні операції з R деревами. Режим доступу:

<https://www.bartoszsypytkowski.com/r-tree/>

6. Пошук перетину об'єктів за допомогою R дерев. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/236611860_A_Collision_Detection_Algorithm_for_Polygonal_Models_that_uses_Sequential_and_Parallel_Techniques_for_Improving_Performance

7. [Guige03]Guige, P. and Devillers, O., 2003. Fast and Robust Triangle-Triangle Overlap Test using Orientation Predicates. Journal of Graphics Tools, 8, 1, 25-42

8. Огляд застосунку Siemens Kineo. Режим доступу: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/plm-components/kineo/kineoworks/>

REFERENCES

1. Review of algorithms for 3D object collision detection. Access mode: <https://www.inesc-id.pt/ficheiros/publicacoes/7101.pdf>

2. Algorithms for broad-phase collision detection. Access mode: https://d2l.ai/chapter_computer-vision/bounding-box.html

3. Classical hierarchical collision detection scheme. Access mode: https://cgvr.cs.uni-bremen.de/papers/wscg03/wscg_ext.pdf

4. [Zachmann03] G. Zachman, and G. Knittel, "An Architecture for Hierarchical Collision Detection," Proceedings of WSCG' 2003, the 11th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision'2003, Czech Republic, 2003.

5. Efficient operations with R-trees. Access mode: <https://www.bartoszsypytkowski.com/r-tree/>

6. Object intersection search using R-trees. Access mode: https://www.researchgate.net/publication/236611860_A_Collision_Detection_Algorithm_for_Polygonal_Models_that_uses_Sequential_and_Parallel_Techniques_for_Improving_Performance

7. [Guige03] Guige, P. and Devillers, O., 2003. Fast and Robust Triangle-Triangle Overlap Test using Orientation Predicates. Journal of Graphics Tools, 8, 1, 25-42

8. Review of Siemens Kineo application. Access mode: <https://plm.sw.siemens.com/en-US/plm-components/kineo/kineoworks/>

Received 10.05.2024.

Accepted 14.05.2024.

***Analysis of collision detection algorithms
in three-dimensional virtual environments***

The problem addressed in this paper concerns the real-time detection of collisions in virtual environments, which can consume a significant portion of computational resources, particularly in complex simulations with numerous objects. Ensuring a minimum frame rate of 30 FPS is crucial for user-friendly simulations. The focus is on the narrow phase of collision detection, where objects in close proximity are examined for potential collisions. This paper proposes a collision detection algorithm leveraging Directed Bounding Parallels (AABB) R-tree structure and Oriented Bounding Parallelepiped Intersection (OAABB) method to address this phase efficiently. Experimental results demonstrate the effectiveness of the algorithm in detecting intersections with high interaction rates.

Various publicly available toolkits exist for narrow phase collision detection, employing different bounding volume hierarchies and constraint volumes. Comparing these approaches is challenging due to performance variations influenced by factors such as object shapes, contact types, and model sizes. Nonetheless, these algorithms are crucial for accurately detecting collisions in virtual environments and gaming applications.

Bounding Volume Hierarchies (BVH), commonly used for collision detection, organize object geometry and improve performance by reducing test pair numbers through volume constraints. The proposed algorithm utilizes R-tree hierarchies of directed bounding parallelepipeds and OAABB to enhance collision detection efficiency by minimizing update and intersect operations. The choice of constraint volume type impacts collision detection performance, with oriented parallelepipeds offering faster intersections.

To expedite collision detection, each feature is represented by an R-tree data structure in its local coordinate system. Hierarchical trees are constructed by grouping adjacent surfaces, with leaves indicating surface geometry. Additionally, R-trees are employed to spatially organize triangles within surfaces to quickly discard non-intersecting triangles.

The algorithm leverages OAABB, a concept involving the common volume between two oriented bounding parallelepipeds, to filter out primitives that cannot intersect. Traversal algorithms are utilized to reduce the number of node visits, addressing inefficiencies observed in traditional schemes. OAABB contributes significantly to reducing volume refresh operations.

Experimental evaluations demonstrate the proposed algorithm's efficacy in real-world industrial applications, achieving interactive performance. Comparisons with alternative methods highlight the algorithm's effectiveness in collision detection. Overall,

the proposed approach offers a robust solution to the narrow phase collision detection problem in virtual environments.

Keywords: collision detection, 3D gaming algorithms, computer graphics, R trees, bounding boxes, performance benchmark, innovations, model processing.

Невкритий Іван Олександрович – аспірант 3-го року навчання Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Антоненко Світлана Валентинівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Nekvrytyi Ivan - graduate student of Dnipro National University named after Oles Honchar.

Antonenko Svitlana - candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of computer mathematical support of Dnipro National University named after Oles Honchar.

М.О. Лук'янець, Є.С. Сулема

**МЕТОД УГРУПУВАННЯ ТЕМПОРАЛЬНИХ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ
ПОТОКОВИХ ДАНИХ ПРИСТРОЇВ ІОТ
НА ОСНОВІ РЕАКТИВНОГО ПРОГРАМУВАННЯ**

Анотація. Стаття присвячена розробленню методу угруповання темпоральних поточкових даних в мережах пристроїв Інтернету речей (ІоТ). Актуальність пояснюється необхідністю ефективної обробки даних пристроїв ІоТ у реальному часі. Мета полягає в розробці методу, що враховує складність та специфіку поточкових даних ІоТ. Запропоновано використовувати реактивне програмування для угруповання даних. У результаті показано можливість побудови ієрархії угруповання з урахуванням особливостей пристроїв ІоТ та масштабованість запропонованого методу.

Ключові слова: угруповання, ІоТ, поточкові дані, реактивне програмування, мультимодальні дані.

Постановка проблеми. Мережі пристроїв Інтернету речей (ІоТ) стають все більш розповсюджені у теперішній час. Мережі можуть складатися з різноманітних пристроїв, що збирають дані про погоду, трафік, знімають відео або звук тощо. Ці дані мають різні формати, включаючи тексти, зображення, відео та числові значення, та збираються з різних джерел у реальному часі.

Для оброблення даних і представлення результатів користувачу, для деяких задач дані необхідно попередньо згрупувати за ознакою часу їх генерації. Різноманіття пристроїв та можливих даних ускладнює процес угруповання. Також ускладнюють задачу можливі розбіжності у часі, спричиненні технічними особливостями пристроїв та мереж, що передають відповідні дані.

Таким чином, існує необхідність у розробці ефективних методів угруповання темпоральних мультимодальних поточкових даних пристроїв ІоТ, які б забезпечували швидку та точну обробку цих даних в реальному часі, враховуючи їхню складність та специфіку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для угруповання даних їх необхідно визначити за певним параметром як наявні до однієї групи. У випадку

угруповання темпоральних даних критерієм є саме час, відповідно постає задача синхронізації даних.

Задача синхронізації поточкових даних є відомою та має значну кількість способів вирішення. До створення мереж IoT задача синхронізації існувала і для інших даних. Широкого розповсюдження набули методи синхронізації мультимедійних даних.

Серед основних проблем синхронізації наявні наступні: затримки мережі, мережеві флуктуації, флуктуації на кінцевих системах, розбіжність годинників, дрейф годинників, дрейф швидкості, розбіжність мережі, розбіжність відображення [1]. Відповідно існують способи синхронізації часу за допомогою NTP або GPS. Також існують алгоритмічні способи вирішення проблеми синхронізації [1] та способи компенсації затримок при відображенні мультимедійних даних [2]. Відповідні способи синхронізації існують і для мереж пристроїв [3].

Обробка даних IoT розподіляється на дві категорії: пакетну та подійну обробку. Пакетна обробка ефективна при роботі з великим обсягом даних, які збираються протягом певного періоду часу, у той час як подійна обробка виконує аналіз даних без їх зберігання та прийняття рішень для кожного окремого запису системи [4].

Для реалізації вимог до обробки даних в реальному часі для IoT, нещодавно були запропоновані рішення на основі концепції архітектури, орієнтованої на події (EDA), що призвело до розвитку нової дослідницької області, відомої як обробка складних подій (CEP) [4]. CEP включає обробку, аналіз та кореляцію потоків подій з різних джерел даних за допомогою розподілених систем на основі повідомлень з метою вилучення високорівневих знань майже в реальному часі.

Для пакетної обробки існують методи синхронізації по подіям [5], проте вони орієнтовані на визначення однієї події, такої як сплеск, стрибок чи однаковий звук на багатьох датчиках одночасно. Через це синхронізація по подіям в загальному випадку не може бути застосована до різноманітних мереж IoT, а лише до деяких з них.

Мета дослідження. Метою дослідження є розроблення методу угруповання темпоральних поточкових даних пристроїв IoT, що дозволив би врахувати при угрупованні такі особливості, як можливі мережеві затримки при доставці даних та різницю синхронізації годинників у різних пристроях.

Викладення основного матеріалу дослідження. Різні системи IoT побудовані на різноманітних протоколах, і створення єдиної та глобальної сис-

теми для мережі IoT, яка може працювати разом, є складним завданням [4]. У цьому контексті рішення для роботи з даними IoT повинно відповідати декільком вимогам.

Запропоноване рішення повинне бути достатньо загальним, щоб зчитати дані, що надходять з різних систем IoT у необхідних форматах. Воно повинно мати здатність обробляти гетерогенні потоки даних з мінімальними модифікаціями наявних компонентів. Воно повинно мати можливість виконувати аналітику в реальному часі для застосунків, які потребують оперативності. Нарешті, воно повинно враховувати можливі часові відмінності, породжені особливостями роботи розподілених мереж пристроїв.

Обробка потоків зазвичай використовується для роботи з великим обсягом даних, де навантаження має бути розподілене між кількома ядрами процесора або навіть кількома обчислювальними вузлами. Тому підхід, який виконує агрегації на цих потоках, повинен забезпечувати масштабованість та надійність, щоб не стати головною проблемою методу в цілому [6]. Також метод має забезпечувати ієрархічну побудову, яка б репрезентувала фізичну або логічну структуру (пристрої можуть бути розділені за типами або за географічним розташуванням).

Вирішення проблеми синхронізації часу може бути здійснено за допомогою протоколів синхронізації часу в мережі (наприклад, використовуючи протокол мережевого часу (NTP) або глобальної системи позиціонування (GPS) [1]. Проте, для багатьох пристроїв IoT дане рішення може не підійти через неможливість встановлення часу на деяких пристроях, високу ціну приймача GPS, порівняно з ціною самого пристрою, зламаний приймач або відсутність сигналу на деяких територіях (приймач закритий будівлею, сам сигнал подавлений або ж підмінений). Відповідно встановлення часу має відбуватися на пристроях також і іншими способами, які дають меншу точність синхронізації, що вимагає можливості врахування потенційних розбіжностей в часі, спричинених налаштуваннями годинників пристроїв. Також має бути врахована затримка при передачі даних від пристроїв до серверу (наприклад, затримка при використанні супутникового терміналу може складати декілька секунд).

Реалізувати дані вимоги запропоновано за допомогою реактивного програмування, що пристосоване до роботи з потоками даних та може бути використано для їх об'єднання [7]. Також даний спосіб підходить і для роботи з потоками у реальному часі. Прикладом способу з реактивного програмування є GroupJoin [8], що дозволяє об'єднувати потоки від двох джерел для пошуку груп

між ними. Також GroupJoin має можливість налаштування очікування для даних з двох джерел, що дозволяє врахувати різницю у часі надходження від пристроїв по мережі.

На рис.1 зображений запропонований метод угруповання темпоральних поточкових даних з використанням реактивного програмування, а саме на основі оператора GroupJoin. На початку необхідно ініціалізувати угруповання, а саме передати до GroupJoin відповідні потоки даних від двох пристроїв та налаштування для роботи. Використання лише двох потоків для єдиної ланки ієрархії зумовлене саме особливістю GroupJoin, який працює з двома потоками даних. Надалі відбувається очікування отримання даних від головного пристрою. При отриманні даних, можливо почати порівняння за певним критерієм з подальшим формуванням групи. У разі, якщо пройшов час очікування формування групи, можливо сформувати групу лише з даними від головного пристрою для подальшої передачі цих даних. Критерієм формування групи у запропонованому методі є саме час отримання з дозволеною похибкою. Проте, за необхідності, цю частину методу можливо модифікувати для формування групи також за додатковими критеріями. Час очікування формування та максимально дозволена похибка часу можуть встановлюватися відповідно до очікуваних умов роботи системи, таких як максимальний час розбіжності годинників пристроїв та час надходження даних. Також можлива модифікація алгоритму, що буде формувати групу однократно для кожного елементу даних головного пристрою. Оскільки метод заснований на реактивному програмуванні, після формування групи викликається подія формування групи, що дозволяє надалі використовувати дану групу.

Для подальшого угруповання даних відбувається аналогічне об'єднання даних зі сформованих груп. Також можливо створити реалізацію, що буде угруповувати дані між потоком сформованих груп від декількох пристроїв та потоком отримання даних від пристрою.

Для зменшення витрат пам'яті та часу при подальшому угрупованні дані додаються до списку вже сформованої групи замість формування нової. Таким чином можливо угруповувати дані від довільної кількості пристроїв, сформувавши ієрархію угруповання. Завдяки цьому можливо розподілити процес угруповання між різними процесами, забезпечивши масштабованість та розподілення ресурсів системи для обчислення як між ядрами процесора, так можливо і різними серверами.

Для перевірки роботи запропонованого методу була створена реалізація з використанням бібліотеки Rx для .NET. Оскільки бібліотека Rx, що імплементує різноманітні методи для реактивного програмування, має реалізації для багатьох мов програмування [9], реалізація запропонованого методу можлива на інших платформах.

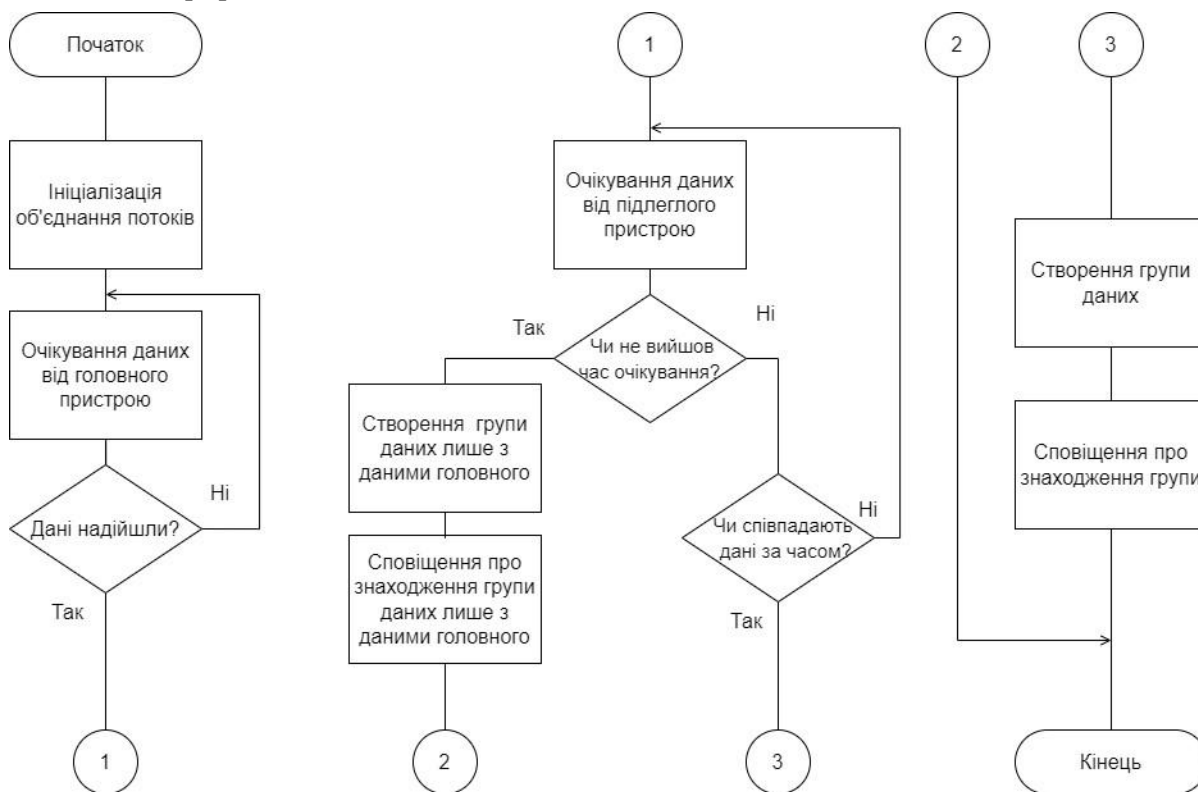


Рисунок 1 – Метод угруповання поточкових даних з використанням реактивного програмування

Для порівняння роботи методу також була створена наївна реалізація, що виконує угруповання між списками даних замість угруповання поточкових даних. На рис.2 зображений результат бенчмарку, швидкодія для невеликої кількості є схожою, проте при зростанні кількості даних для угруповання швидкодія для угруповання поточкових даних зменшується. Цей та наступні бенчмарки були запущені на даній конфігурації: win10-x64, .NET 8, intel i7-7700HQ.

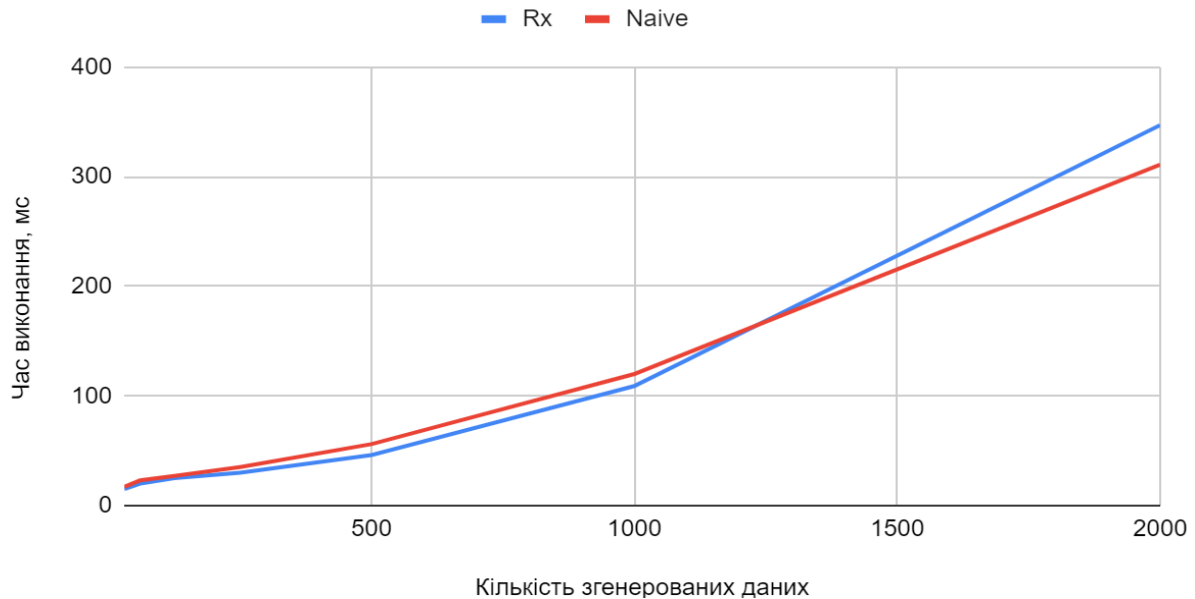


Рисунок 2 – Результати перевірки роботи реалізацій методів з використанням Rx та наївної реалізації

На рис.3 зображений результат бенчмарку для запропонованої реалізації для різної кількості емуляторів пристроїв, що генерують дані. Швидкість генерування даних сягає 40 тисяч за секунду сумарно для всіх пристроїв. Очікувано, при зростанні кількості пристроїв зростає і використана пам'ять. Проте, при подвоєнні кількості пристроїв коефіцієнт збільшення використаної менше ніж у два рази.

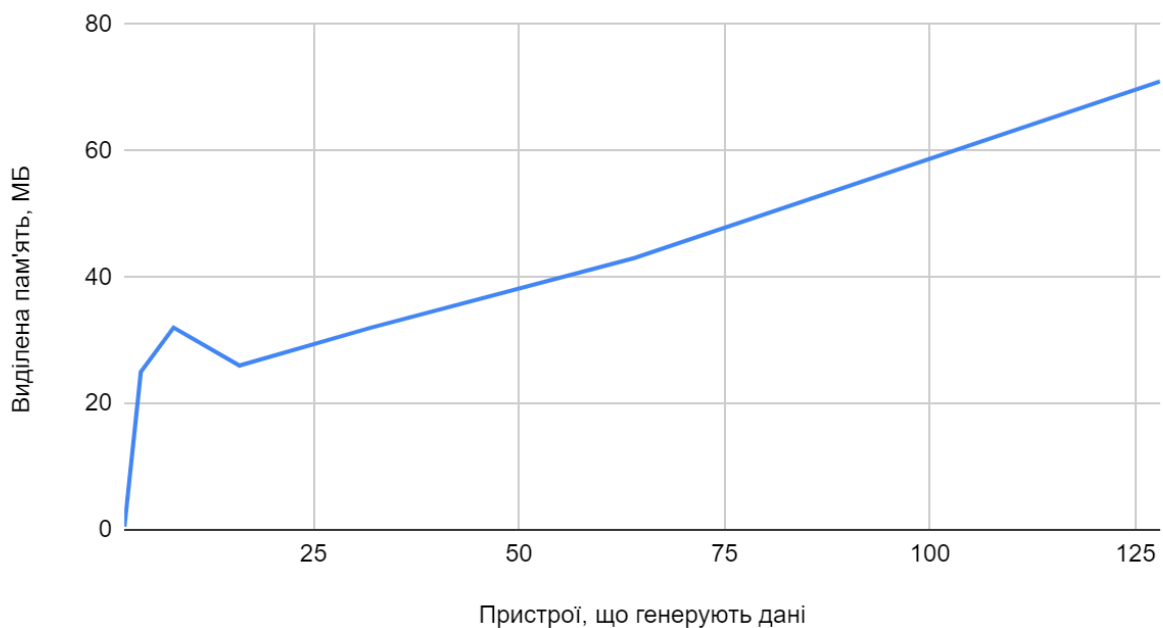


Рисунок 3 – Результати перевірки роботи реалізації методу з використанням Rx по виділеній пам'яті

На рис.4 зображений аналогічний бенчмарк до проведеного на рис.3, але вимірювався час виконання угруповання. Помітне аналогічне зростання витраченої пам'яті до попереднього бенчмарку, тобто при подвоєнні кількості пристроїв час виконання зростає менше ніж у два рази.

Серед особливостей запропонованого методу варто відзначити можливість побудови ієрархії угруповання, що дозволяє гнучко реалізовувати необхідні вимоги угруповання з урахуванням особливостей як самих пристроїв, так і їх підключення до мережі. Відповідно, дане налаштування вимагає часу і ресурсів для аналізу та встановлення необхідних параметрів для конфігурації ланок методу.

Для спрощення налаштування можливе створення модифікації методу, що на кожній ланці буде угруповувати дані одразу від багатьох пристроїв, при цьому зменшивши можливість налаштування кожної окремої ланки та, відповідно, спростивши побудову ієрархії.

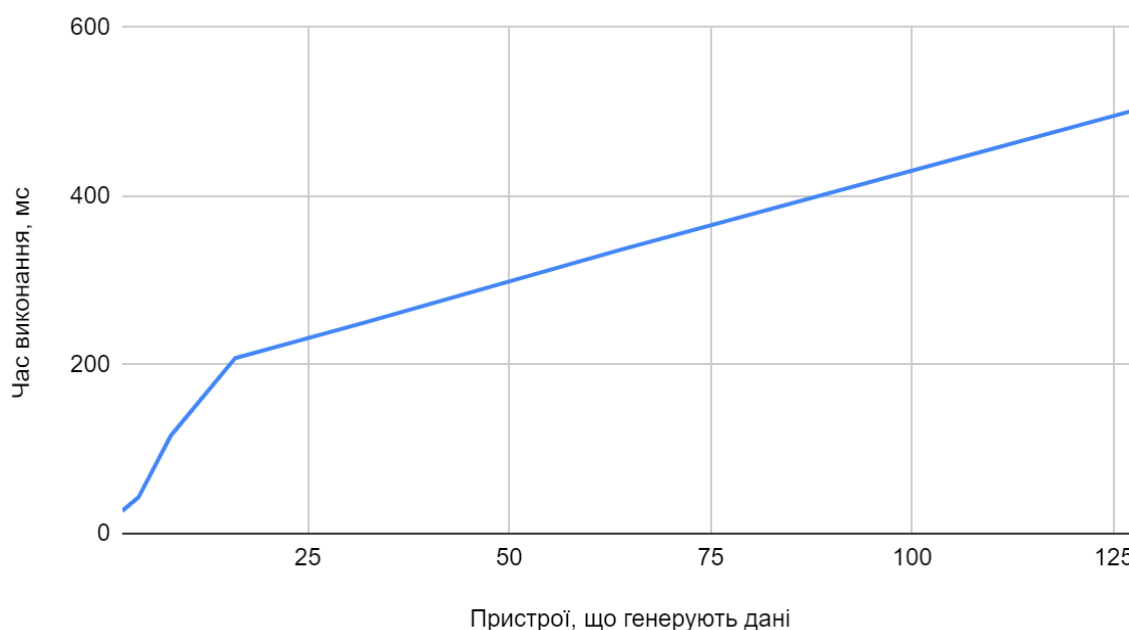


Рисунок 4 – Результати перевірки роботи релізації методу з використанням Rx по часу виконання

Висновки. Отже, запропоновано метод, що дозволяє будувати ієрархію угруповання мультимодальних темпоральних поточкових даних від пристроїв IoT з можливістю налаштування часу очікування та максимального часу відмінності між часовими мітками у даних від різних пристроїв. З особливостей варто відмітити необхідність побудови ієрархії угруповання з виділенням головних пристроїв, що зумовлена принципом роботи GroupJoin у Rx.

Також, завдяки розділенню угруповання на окремі ланки, запропонований метод може бути розділений між окремими процесами, що будуть відбуватися у окремих потоках програми або, можливо, й між різними серверами, забезпечуючи масштабованість. Тобто, поставлені цілі для методу були загалом досягнуті. Створена реалізація на .NET підтвердила можливість виконання поставлених завдань запропонованим методом.

З особливостей запропонованого методу варто відзначити можливість налаштування кожної окремої ланки в ієрархії угруповання, що є універсальним рішенням для багатьох можливих систем пристроїв IoT. У разі відсутності необхідності глибокого налаштування кожної окремої ланки можливо продублювати налаштування для усіх ланок, проте перспективним вбачається створення методу угруповання, що дозволить одночасно угруповувати дані від багатьох пристроїв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Boronat F., Lloret J., Garcia M. Multimedia group and inter-stream synchronization techniques: A comparative study //Information Systems. – 2009. – Т. 34. – №. 1. – С. 108-131.
2. Ravindran K., Bansal V. Delay compensation protocols for synchronization of multimedia data streams //IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 1993. – Т. 5. – №. 4. – С. 574-589.
3. Sivrikaya F., Yener B. Time synchronization in sensor networks: a survey //IEEE network. – 2004. – Т. 18. – №. 4. – С. 45-50.
4. Akbar A. et al. Real-time probabilistic data fusion for large-scale IoT applications //Ieee Access. – 2018. – Т. 6. – С. 10015-10027.
5. Bannach D., Amft O., Lukowicz P. Automatic event-based synchronization of multimodal data streams from wearable and ambient sensors //Smart Sensing and Context: 4th European Conference, EuroSSC 2009, Guildford, UK, September 16-18, 2009. Proceedings 4. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. – С. 135-148.
6. Henning S., Hasselbring W. Scalable and reliable multi-dimensional sensor data aggregation in data streaming architectures //Data-Enabled Discovery and Applications. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – С. 5.
7. Schueller G., Behrend A. Stream fusion using reactive programming, LINQ and magic updates //Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion. – IEEE, 2013. – С. 1265-1272.
8. Griffiths I., Campbell L. Introduction to Rx.NET. .NET Foundation, 2024. 256 с.

9. Languages. *ReactiveX*. URL: <https://reactivex.io/languages.html> (дата звернення: 15.3.2024).

REFERENCES

1. Boronat F., Lloret J., Garcia M. Multimedia group and inter-stream synchronization techniques: A comparative study //Information Systems. – 2009. – Т. 34. – №. 1. – pp. 108-131.
2. Ravindran K., Bansal V. Delay compensation protocols for synchronization of multimedia data streams //IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 1993. – Т. 5. – №. 4. – pp. 574-589.
3. Sivrikaya F., Yener B. Time synchronization in sensor networks: a survey //IEEE network. – 2004. – Т. 18. – №. 4. – pp. 45-50.
4. Akbar A. et al. Real-time probabilistic data fusion for large-scale IoT applications //Ieee Access. – 2018. – Т. 6. – pp. 10015-10027.
5. Bannach D., Amft O., Lukowicz P. Automatic event-based synchronization of multimodal data streams from wearable and ambient sensors //Smart Sensing and Context: 4th European Conference, EuroSSC 2009, Guildford, UK, September 16-18, 2009. Proceedings 4. – Springer Berlin Heidelberg, 2009. – pp. 135-148.
6. Henning S., Hasselbring W. Scalable and reliable multi-dimensional sensor data aggregation in data streaming architectures //Data-Enabled Discovery and Applications. – 2020. – Т. 4. – №. 1. – p. 5.
7. Schueller G., Behrend A. Stream fusion using reactive programming, LINQ and magic updates //Proceedings of the 16th International Conference on Information Fusion. – IEEE, 2013. – pp. 1265-1272.
8. Griffiths I., Campbell L. Introduction to Rx.NET. .NET Foundation, 2024. 256 p.
9. Languages. *ReactiveX*. URL: <https://reactivex.io/languages.html> (access date: 15.3.2024).

Received 13.05.2024.

Accepted 15.05.2024.

Method of aggregating temporal multimodal streaming data from iot devices based on reactive programming

Recent advancements in Internet of Things (IoT) technologies have led to an exponential increase in the generation of temporal multimodal streaming data from various IoT devices. Aggregating and processing this data efficiently poses significant challenges, including scalability, reliability, and synchronization issues. This paper proposes a novel method for aggregating temporal multimodal streaming data from IoT devices based on reactive programming principles.

We begin by analyzing recent research and publications in the field to identify existing challenges and limitations in aggregating temporal data from IoT devices. The key problem addressed in this study is the efficient aggregation of data streams while ensuring scalability, reliability, and synchronization across different devices.

The primary objective of this research is to develop a method that can hierarchically organize and aggregate temporal data streams from IoT devices while addressing the challenges of scalability and reliability. To achieve this, we leverage reactive programming techniques, specifically the GroupJoin operation, which allows for the seamless integration of data streams from multiple sources.

Our method involves initializing the aggregation process by passing relevant data streams from two devices to the GroupJoin operation and configuring the settings for operation. Additionally, we introduce flexibility in the aggregation process by allowing for the hierarchical structuring of data streams based on physical or logical criteria.

Furthermore, we discuss the implementation of our proposed method using the Rx library for .NET, which provides implementations for various programming languages, ensuring its adaptability across different platforms. We benchmark the performance of our method against a naive implementation, demonstrating its efficiency and scalability in aggregating temporal data streams from IoT devices.

In conclusion, our proposed method offers a scalable and reliable solution for aggregating temporal multimodal streaming data from IoT devices. By leveraging reactive programming principles, we address key challenges in data aggregation and provide a flexible method for organizing and processing data streams efficiently.

Лук'янець Михайло Олександрович – аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Сулема Євгенія Станіславівна – д.т.н., доцент, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Lukianets Mykhailo Oleksandrovych - Postgraduate student of the Computer Systems Software Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

Sulema Yevgeniya Stanislavivna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Computer Systems Software Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute".

МОДЕЛЬ СЕРВІСУ ГЕТЕРОГЕННОЇ РОЗПОДІЛЕНОЇ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ МАСШТАБУВАННЯ ПРОГРАМНИХ СИСТЕМ

Анотація. У статті розглянуто актуальність горизонтального масштабування програмних систем, які потребують використання СУБД для опрацювання великих об'ємів структурованих, JSON, геопросторових даних, при цьому, маючи вимоги забезпечення ACID властивостей та цілісності даних. Проведено аналіз існуючих продуктів, наведено їх основні переваги та недоліки, сформульовано проблему єдиної точки відмови, технічних обмежень, відсутності підтримки необхідного функціоналу. У якості її вирішення розроблено модель сервісу гетерогенної розподіленої бази даних, складено опис її характеристик та архітектури. З застосуванням технології Kubernetes проведено дослідження метрик продуктивності кластера БД на базі розробленої моделі, показники яких у підсумку мають кращі значення у порівнянні з розглянутими рішеннями.

Ключові слова: розподілені СУБД, кластер баз даних, OLTP, ACID, JSON, геопросторові дані, горизонтальне масштабування, продуктивність баз даних.

Постановка проблеми. Розвиток інформаційних технологій, їх масове використання для автоматизації процесів у фінансових, технологічних, медичних, наукових, державних та інших сферах сучасного світу, глобальна цифровізація послуг потребує створення складних програмних систем для опрацювання high-load навантажень на великих об'ємах даних, які можуть бути представлені в структурованих та неструктурованих форматах. Серед останніх варто відзначити суттєве збільшення JSON та геопросторових даних останніми роками. В свою чергу, цей факт ставить нові вимоги щодо потреб масштабування СУБД, яке може бути реалізовано за рахунок використання NoSQL рішень з підтримкою даного функціоналу. Однак, NoSQL бази даних підтримують лише неструктуровані формати, а їх архітектура збудована на основі BASE транзакційної моделі (відсутність миттєвої узгодженості), тому БД цього типу не можуть в повній мірі замінити реляційні для проектів, орієнтованих на OLTP та ACID властивості. Тому розробники вимушені використовувати декілька типів СУБД з різною кількістю екземплярів кожного, в

залежності від навантаження. Проте в цьому випадку лишаються наступні проблеми: відсутність масштабування однієї з реляційних баз даних [1, 2], а також диспетчеризації з'єднань на рівні сервісів бізнес логіки [1, 3], що у свою чергу ускладнює архітектуру серверних застосунків, їх масштабування, підтримку та супровід програмних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши відповідні тематичні статті та наукові джерела, було знайдено декілька рішень, які дозволяють розгортати розподілені кластери баз даних з підтримкою необхідного SQL функціоналу. Але, вони все одно мають певні недоліки: один вузол координатор, як вузьке місце всієї системи, відсутність глобального індексу – Citus DB, Greenplum DB [4, 5]. Cockroach DB не підтримує транзакцій високої складності, збережені процедури та тригери [6], просунуті можливості стосовно гео зон та бекапів доступні лише для enterprise версії. Volt DB має обмеження на розмір бази в залежності від розміру пам'яті, не підтримує зовнішні ключі, check constraints, JSON тип даних [7], постачається за платною ліцензією. В табл. 1 наведено відмінності між цими продуктами, їх основні переваги та недоліки.

Таблиця 1

Основні характеристики розподілених реляційних баз даних

Властивості	Citus DB	Greenplum DB	Cockroach DB	Volt DB
Workloads	OLTP	OLAP	OLTP	OLTP
Цінова модель	+	+	-	-
Розподіл даних	distributed value, size	evenly, randomly	ranges, geo (enterprise)	partition per node
Глобальний індекс	-	-	+	-
Резервування, гнучкість масштабування	-	-	+(enterprise)	memory restriction
FK, check constraints	+	+	+	-
SQL proc., triggers	+	+	-	+
JSON data & operators	+	+	restricted operators	-
Геопросторові дані	+	+	+	+

Мета дослідження. Метою дослідження є розробка моделі сервісу розподіленої системи управління базами даних, яка має підтримувати структуровані, JSON, геопросторові дані, ACID набір властивостей, надавати можливість прозорої інтеграції з клієнтом через єдиний API, при цьому забезпечуючи гнучке масштабування всіх компонентів програмної системи.

Програмна реалізація моделі. Враховуючи основні аспекти проектування розподілених баз даних, було розроблено модель сервісу гетерогенної розподіленої СУБД, основними вимогами реалізації якої є:

- З боку кластера – єдиний інтерфейс та різні його реалізації для проведення досліджень з різними БД продуктами;
- З боку клієнта – єдиний інтерфейс для прозорої взаємодії з інструментом тестування, однакові тестові сценарії для різних БД продуктів;
- Розділення всього функціоналу на окремі незалежні компоненти, взаємодія яких відбувається через внутрішні інтерфейси;
- Паралельна обробка запитів у багатопоточному режимі, можливість використання декількох екземплярів сервісів для гнучкого масштабування програмної системи;
- Збір та агрегація внутрішньої статистики здійснюється у фоновому режимі з мінімальним впливом на продуктивність кластера;
- Окрема БД для збереження метаданих, забезпечення її високого рівня надійності, доступності та продуктивності, низької вартості передачі даних від цієї БД до всіх точок використання в кластері.

На рис. 1 зображено архітектурну схему моделі, розробка якої виконана з застосуванням Massively Parallel Processing (MPP) підходу.

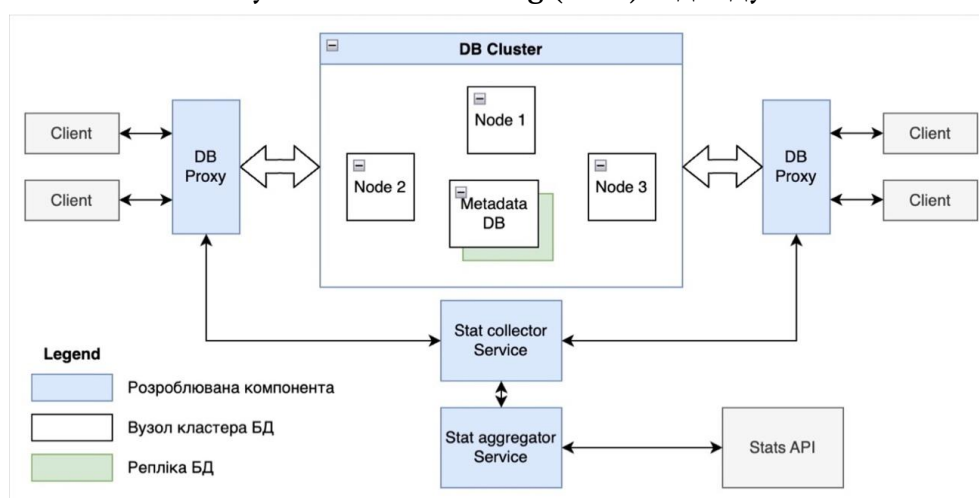


Рисунок 1 – Архітектурна схема моделі сервісу розподіленої системи керування базами даних

У якості опрацювання даних на кожному вузлі використовується PostgreSQL v15.3 з PostGIS розширенням - реляційна СУБД з підтримкою JSONB та Geometry типів даних. Для вузла з метаданими використовується масштабоване NoSQL рішення Redis Stack, яке розгортається в двох екземплярах: основна БД та додаткова репліка. Це вирішує проблему одного вузла координатора, в production експлуатації метадані можуть бути масштабовані на додаткові вузли кластера, при цьому забезпечується одночасне опрацювання запитів для декількох DB Proxy екземплярів. Розподіл даних між вузлами реалізовано на основі Hash-based sharding алгоритму. Він може бути застосований для одного або декілька полів distributed об'єкта, який уособлює сутність одного запису певного дата сету. Програмна система розроблена на основі Java 17 з використанням Spring фреймворку версії 6.

Характеристики програмного продукту:

- Забезпечення розподілу даних серед вузлів кластера прозоро для клієнта;
- Підтримка числових та текстових типів даних для distributed об'єкта;
- Підтримка JSON та геопросторових типів даних для атрибутів таблиць;
- Можливість паралельної обробки одного запиту на декількох вузлах кластера, агрегація результатів в одну відповідь для клієнта;
- Збір та агрегація статистики за наступними параметрами: номер вузла кластеру, БД сутність, група запитів. Метрики: кількість запитів, кількість задіяних унікальних записів БД сутності, середній час обробки з розрахунку розподілення на кожний запис;
- Генерація змістовних дата сетів заданого об'єму для кожної БД сутності;
- Створення та запуск сценаріїв тестування продуктивності для кожної БД сутності і декількох одночасних з'єднань, з можливістю здійснювати послідовно різні типи запитів та аналізувати їх успішність виконання, формувати статистику по групам запитів для кожного сценарію.

Зовнішні програмні інтерфейси:

- RESTful Client API – CRUD операції для інтеграції з інструментом тестування продуктивності з підтримкою JSON формату;
- RESTful API з підтримкою TSV формату для взаємодії з сервісом статистики.

Дослідження продуктивності розробленої моделі. Для створення кластеру БД з трьох вузлів та розгортання розробленої програмної системи було

застосовано Minikube – це легковагова реалізація Kubernetes для локального використання. Характеристики комп’ютера, на якому було проведено дослідження: MacBook Pro 2,9 GHz Intel Core i7, 16 GB RAM, 500 GB SSD, macOS Ventura 13.6. Створена віртуальна машина на базі гіпервізора Hyperkit: 4 vCPU, 6GB RAM, 20GB HDD. Для програмування сценаріїв навантаження та тестування продуктивності було використано інструмент Gatling, для генерації змістовних даних – бібліотеку Datafaker. Список даних сетів з їх характеристиками вказано у табл. 2. Для третього даних сету використано перелік географічних назв з сайту Science Base-Catalog з їх координатами у форматі загальноприйнятої системи просторової прив’язки (SRID) 4326, який представляє просторові дані з використанням координат довготи та широти на поверхні Землі, як визначено в стандарті WGS84. Кількість записів у 45000 в кожному даних сеті підібрано експериментально для цієї конфігурації, щоб запобігти використанню swap на віртуальній машині БД кластеру.

Таблица 2

Опис характеристик даних сетів

Даних сет	Тип distributed value	Змінюване значення UPD сценарію	Тип полів для сценаріїв пошуку та UPD ключа
TextDS	Varchar(130)	Varchar(1300)	Int(8), Varchar(130)
JsonDS	Int(8)	JSON with 20 random properties	JSON key:val pair Varchar (6-12;10-20)
GeoDS	Int(8)	Geometry(POINT)	Int(8), Geometry(POINT)

Дослідження продуктивності роботи програмної системи засновано на відпрацюванні всіх сценаріїв для кожного даних сету протягом 120 секунд (окрім create та delete) для десяти одночасних БД з’єднань, при цьому дані з даних сету використовуються у випадковій послідовності. Сценарій create виконувався до повного відпрацювання даних сету, сценарій delete застосовувався для 5000 записів з кожного даних сету. Після відпрацювання кожного сценарію через прикладний програмний інтерфейс статистики (API) отримувались значення метрик продуктивності для подальшого аналізу. Зміст сценаріїв та їх послідовність запитів до бази даних вказано у табл. 3.

Перелік сценаріїв тестування продуктивності роботи кластера

Назва сценарію	Послідовність запитів до БД
Create	create
Update	updateByDVal, findMany, findById
Find	findByDVal, findMany, findById
FindJson	findByJson, findById
FindByPoint	findByPoint, findById
FindByDistance	findByDistance, findById
Delete	delete

На рис. 2 представлено порівняння результатів тестування власної розробленої моделі, Citus DB v12.1 with PostGIS v16, Cockroach DB v23.1 з застосуванням create сценарію.

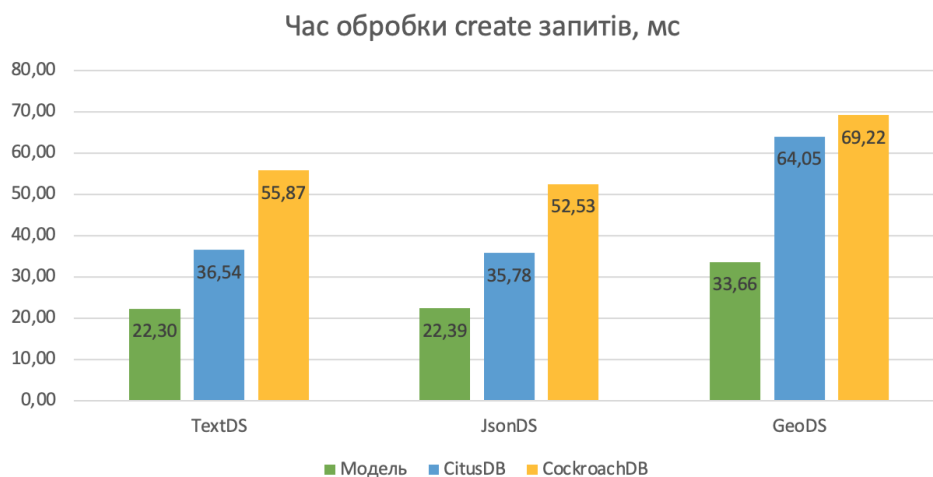


Рисунок 2 – Час обробки create запитів для всіх дата сетів

Розроблена модель має кращій показник продуктивності у 2 рази за обидва БД продукти для гео даних. Для інших типів даних – у 1,6 рази краще від Citus DB та у 2,35-2,5 від Cockroach DB. Для всіх БД продуктів створення запису з гео даними потребує у 1,24-1,8 більше часу ніж для інших типів даних.

Результати оновлення за distributed значенням представлено на рис. 3 у вигляді метрики часу обробки updateByDVal запитів з Update сценарію для всіх дата сетів.

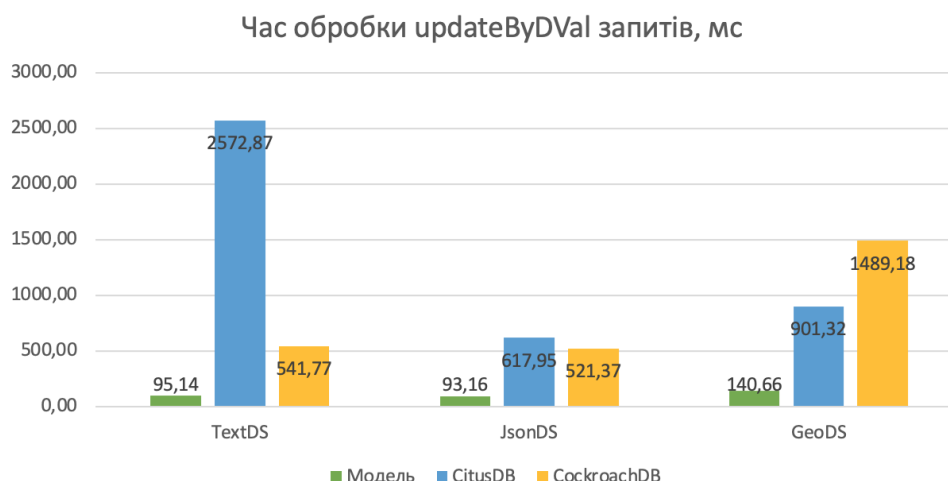


Рисунок 3 – Час обробки updateByDVal запитів для всіх дата сетів

Розроблена модель має кращі значення метрики продуктивності у порівнянні з іншими БД продуктами в 5,6-10,6 раз без урахування результату на TextDS дата сеті для Citus DB. Значення цієї метрики слід відокремити від інших, воно відрізняється у порівнянні з Cockroach DB у 4,7 рази та у 27 раз від значення відповідної метрики розробленої моделі. Незважаючи на створений індекс для distributed текстового поля TextDS дата сету, Citus DB має найгірший показник продуктивності запиту оновлення даних таблиць, записи яких розподіляються в кластері на основі іншого унікального індексу на текстовому полі, ніж на ідентифікаторі у вигляді integer primary key. Для дата сету, в якому у якості distributed значення використовується integer primary key, Citus DB показує набагато кращий результат, але все одно програє іншим БД продуктам. У порівнянні з попереднім тестом, зберігається тенденція того, що оновлення записів з гео даними потребує більше часу.

Дослідження метрики продуктивності для запитів, які повертають багато рядків наведено на рис. 4 у вигляді часу обробки findMany запиту з результатом у 100 рядків з того ж Update сценарію.

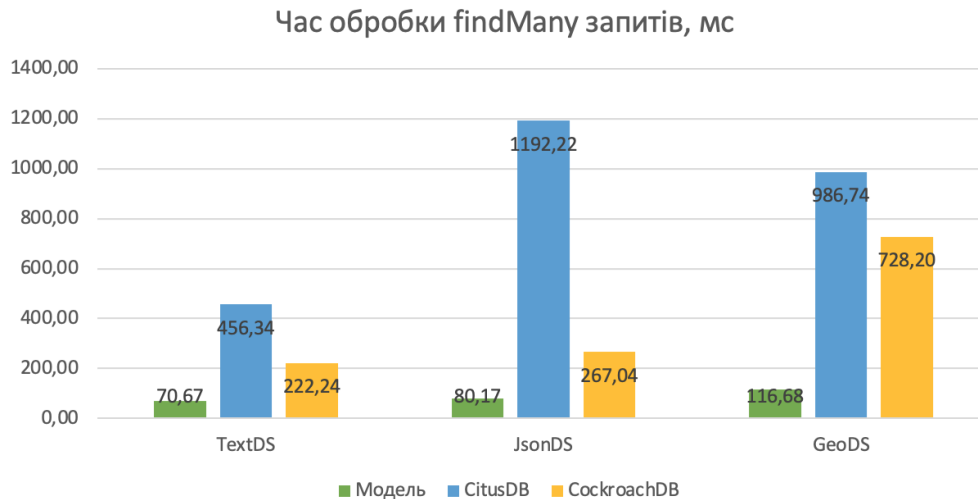


Рисунок 4 – Час обробки findMany запитів для всіх дата сетів

Не враховуючи метрику Citus DB для JsonDS дата сету, розроблена модель знову має кращий результат у 3,2-8,5 рази, а з врахуванням цієї метрики у 14,9 рази. Citus DB показує найгірший результат отримання JSON записів.

Метрики запитів для пошуку за атрибутами та ідентифікатором JSON даних, а також їх видаленню показано на рис. 5. Не враховуючи результати пошуку даних у Citus DB кластері, які знову мають найгірші значення, розроблена модель має найкращі показники у 3,4-4,7 рази від інших БД продуктів. Порядок розташування метрик за їх значеннями для delete запитів має ту ж послідовність, як і для create операцій, відповідно ці значення відрізняються між собою у 1,6-3,4 рази.

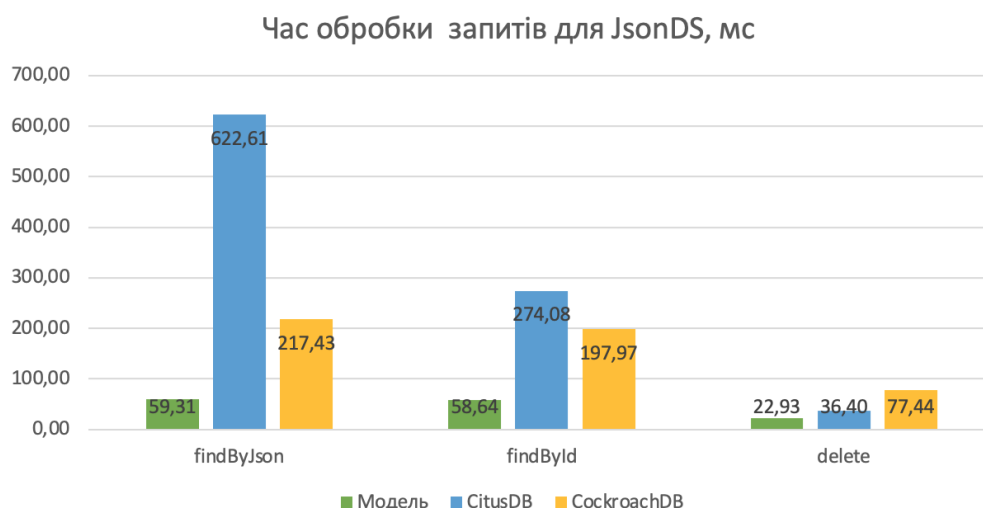


Рисунок 5 – Час обробки запитів для JsonDS дата сету

Результати останнього тесту продуктивності запитів пошуку гео даних для різних кластерів показані на рис. 6.

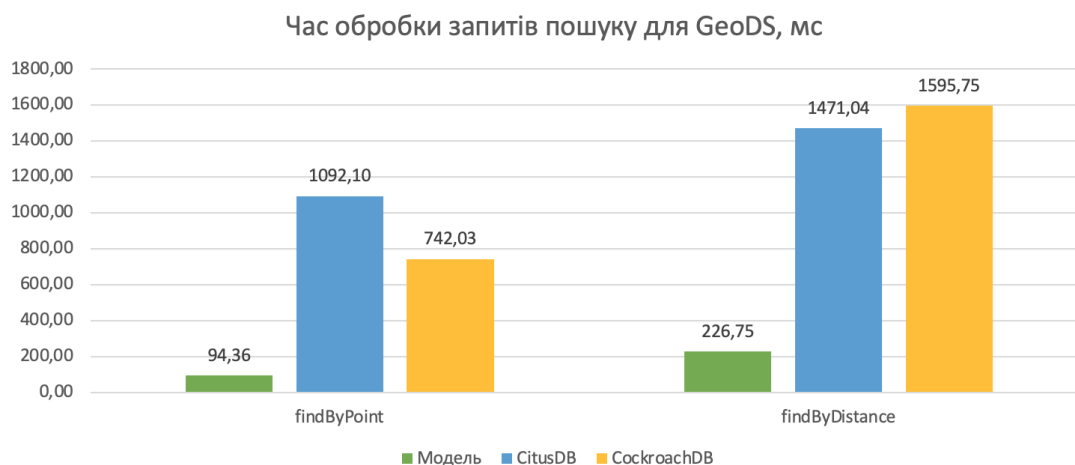


Рисунок 6 – Час обробки запитів пошуку для GeoDS дата сету

У цьому випадку метрики розробленої моделі у 7,9-11,6 разів краще від інших кластерів для запиту пошуку по координатах, у 6,5-7 разів краще для запиту пошуку за відстанню з сортуванням.

У табл. 4 наведено показники використання пам'яті на рівні віртуальної машини як мінімальні та максимальні значення по всіх сценаріях тестування, а також сумарний розмір файлового сховища для даних кластера.

Таблица 4

Використання апаратних ресурсів на рівні віртуальної машини

Кластер	Used memory		Free memory		Buff/cache		File store
	min	max	min	max	min	max	
Модель	1.0Gi	1.1Gi	1638Mi	1740Mi	2.9Gi	3.0Gi	1192Mi
Citus DB v12.1	1.0Gi	1.1Gi	822Mi	887Mi	3.9Gi	4.0Gi	697Mi
CockroachDB v23.1	2.7Gi	2.9Gi	142Mi	372Mi	2.6Gi	3.0Gi	1622Mi

Ці дані показують, що Cockroach DB потребує найбільше апаратних ресурсів, Citus DB має найменший розмір сховища, розроблена модель має кращі показники за об'ємом вільної пам'яті.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті актуалізовано проблему масштабування СУБД для гео розподілених систем, які мають підтримувати структуровані та неструктуровані дані (JSON, geospatial) для проектів, орієнтованих на OLTP та ACID властивості. Проведено аналіз

існуючих програмних продуктів (Citrus DB, Greenplum DB, Cockroach DB, Volt DB), наведено їх основні характеристики, переваги та недоліки.

Розроблена власна модель сервісу гетерогенної розподіленої БД, яка усуває проблему єдиної точки відмови, має єдиний інтерфейс для прозорості інтеграції з клієнтом, надає можливість гнучкого масштабування всіх компонентів програмної системи. Проведення дослідження продуктивності кластерів на основі аналогів Citrus DB, Cockroach DB показує кращі результати для розробленої моделі. У подальшій роботі планується реалізувати перерозподіл даних на основі метрик продуктивності [8], а також провести дослідження з урахуванням фактору реплікації.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Design and Development of a Relational Database Management System (RDBMS) with Open Source Tools for the Processing of Data Monitored in a Set of Photovoltaic (PV) Plants / D. Trillo-Montero et al. Applied Sciences. 2023. Vol. 13, no. 3. P. 1357. URL: <https://doi.org/10.3390/app13031357> (date of access: 12.04.2024).
2. A framework and databases for measuring entrepreneurial ecosystems / E. Johnson, I. Hemmatian, L. Lanahan, A. M. Joshi. // Research Policy. – 2022. – no. 2.
3. Simanjuntak E., Surantha N. Multiple time series database on microservice architecture for IoT-based sleep monitoring system. Journal of Big Data. 2022. Vol. 9, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40537-022-00658-4> (date of access: 09.04.2024).
4. Wu A., Guo J., Yang P. Research on Data Sharing Architecture for Ecological Monitoring Using Iot Streaming Data. IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 195385–195397. URL: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3034466> (date of access: 12.04.2024).
5. Citrus: distributed PostgreSQL for data-intensive applications / [U. Cubukcu, O. Erdogan, S. Pathak and other.]. // SIGMOD. – 2021. – P. 2490–2502.
6. Cockroach Labs Documentation Team. CockroachDB Docs. CockroachDB Docs. URL: <https://www.cockroachlabs.com/docs/> (date of access: 12.04.2024).
7. Pina E., Sá F., Bernardino J. NewSQL Databases Assessment: CockroachDB, MariaDB Xpand, and VoltDB. Future Internet. 2022. Vol. 15, no. 1. P. 10. URL: <https://doi.org/10.3390/fi15010010> (date of access: 12.04.2024).
8. Fedorchuk Y., Andriukhanov I. The method of redistribution of data in a cluster environment. Youth, education and science through today's challenges : XII International Science Conference, Bordeaux France, 4 Dec. 2023. P. 450–453. URL: <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2023/11/YOUTH-EDUCATION-AND-SCIENCE-THROUGH-TODAYS-CHALLENGES.pdf>

Received 15.05.2024.

***The service model of a heterogeneous distributed database
for software system scaling***

The article explores the topicality of horizontal scaling for software systems that require the use of database management systems (DBMS) to process large volumes of structured, JSON, and geospatial data, while maintaining requirements for ACID properties and data integrity. An analysis of existing products is conducted, outlining their main advantages, disadvantages and identifying issues such as single points of failure, technical limitations, and lack of support for necessary functionality. To solve these issues, a service model of a heterogeneous distributed database is developed, providing a description of its characteristics and architecture. Using Kubernetes technology, performance metrics of the database cluster based on the developed model are investigated, demonstrating superior performance compared to the products discussed.

Keywords: distributed DBMS, database cluster, OLTP, ACID, JSON, geospatial data, horizontal scaling, database performance.

Андрюханов Ігор Вікторович – магістр, випускник кафедри програмного забезпечення, Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний університет «Львівська політехніка».

Коротєєва Тетяна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Національний університет «Львівська політехніка».

Andriukhanov Ihor – Master's graduate from the Department of Software, Institute of Computer Science and Information Technologies, Lviv Polytechnic National University.

Korotyeyeva Tetyana – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Software, Institute of Computer Science and Information Technologies, Lviv Polytechnic National University.

A. Rudakova, Y. Lebedenko, H. Rudakova, D. Nilova

DESIGN OF A CONTROL SYSTEM WITH A PREDICTIVE MODEL FOR A TWO-DRIVE MANIPULATOR WITH A PARALLEL STRUCTURE

Abstract. This work intends to contribute to the corpus of knowledge on parallel manipulators and their control by making the most use of Model Predictive Control. We aim to investigate parallel manipulator kinematics, dynamics, and control strategies in detail in order to open up opportunities for enhanced performance, flexibility, and precision in these robotic systems.

Key words: frame installation, manipulator, model predictive control, parallel structure, control system.

Introduction. Parallel manipulators have attracted a lot of interest and attention in the field of robotics and automation recently because of their distinctive qualities and possible uses. These manipulators, often referred to as parallel robots, differ from their serial counterparts in the way that their linkages and joints are set up, and as a result, they have advantages including increased rigidity, increased payload capacity, and higher precision [1]. Parallel manipulator design and control have become important research fields, fostering advancement in a variety of sectors including aerospace, industrial, medical robotics, and more.

Given in [1] their intricate kinematics and dynamics, parallel manipulators present a considerable challenge for effective control. Because of its proficiency in managing complex systems with nonlinearities, uncertainties, and restrictions, model predictive control (MPC), a sophisticated management approach, has become well-known. MPC is an intriguing option for the control of parallel manipulators because of its predictive character, which takes into account future system behaviour and enables real-time adaptation and optimization.

Analysis of recent research and publications. To set the stage for our exploration, we delve into the foundational concepts of parallel manipulator kinematics and dynamics, highlighting key design parameters and considerations. We then delve into the principles of Model Predictive Control, elucidating its strengths and

suitability for addressing the trajectory tracking in complexities inherent in the parallel manipulator system.

As we embark on this journey of investigating parallel manipulator model predictive control, it is imperative to acknowledge the pioneering work and significant contributions made by researchers in this interdisciplinary domain. By building upon the advancements made thus far and embracing the potential of MPC, we aim to further propel the field of parallel manipulators, opening new avenues for their utilization in various high-impact industries.

An example of such a frame installation of a parallel structure (fig. 1a) is a research stand with two guide rods which consist of a metal frame, which is equipped with two stepper motors, drives, hinges and a working body, which can be used as any technological tool such that paint head for varnishing, paints, cutting tools etc. [2].

In order to move the working tool (body) on the site, we need to move the carriages along the guide rods. This is ensured by the operation of drivers.

At Kinematic scheme of frame installation, is illustrated on fig. 1b [2], where $l_{c1}, l_{c2} = l$ - rod lengths, P the platform on which the working tool is installed, $d/2 = -x_{01} = x_{02}$ - distance between the supports, $S_{01} = 0$, $S_{02} = 0$ - initial positions of the carriages, k_1, k_2 - carriages.

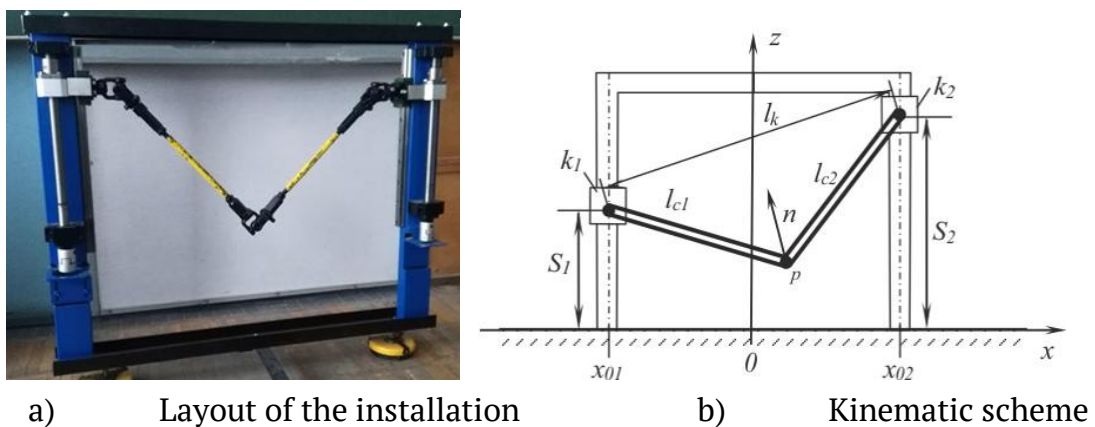


Figure 1 – Two-drive manipulator with a parallel structure

A Kinematic Diagram is a powerful visual representation that elucidates the mechanical structure and motion characteristics of a manipulator. It conveys crucial insights into the relationships between different components and their roles in achieving controlled movement. In fig. 1 b we present a detailed Kinematic Diagram that illustrates the essential components and connections within the manipulator system. This diagram serves as a valuable tool for comprehending the manipulator's

mechanical arrangement and its capabilities in achieving precise and controlled motion.

To initiate movement, we implement a controlled process that guides the actuator's motion from its initial point to a new position within the predefined working area.

The actuator's movement is characterized by a series of incremental steps, where it traverses a path from the initial point to its target position. This path is determined by the proposed trajectory, which may involve straight-line motion, curves, or even complex patterns based on the specific requirements of the task.

An example of moving the actuator within the working area [2] from the initial point with coordinates $(x_0, y_0) = (-0.1, -0.2)$ to the final point $(x_f, y_f) = (0.1, -0.15)$ along a straight line given as $y(t) = 0.25x(t) - 0.175$ is considered on fig. 2.

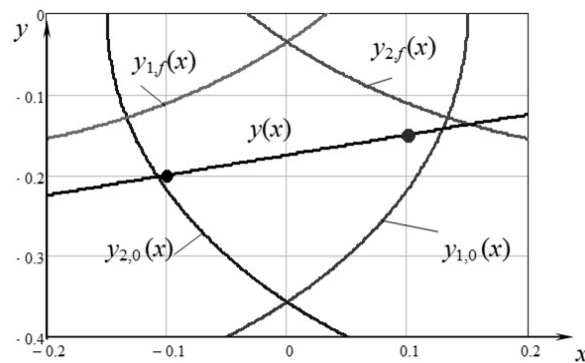


Figure 2 – Trajectory to track

In fig. 3 velocity and acceleration of the executive body, movement of carriages, and carriage velocities are shown respectively. These figures are modeling the behavior of the parallel manipulator in Ideal conditions for a given example.

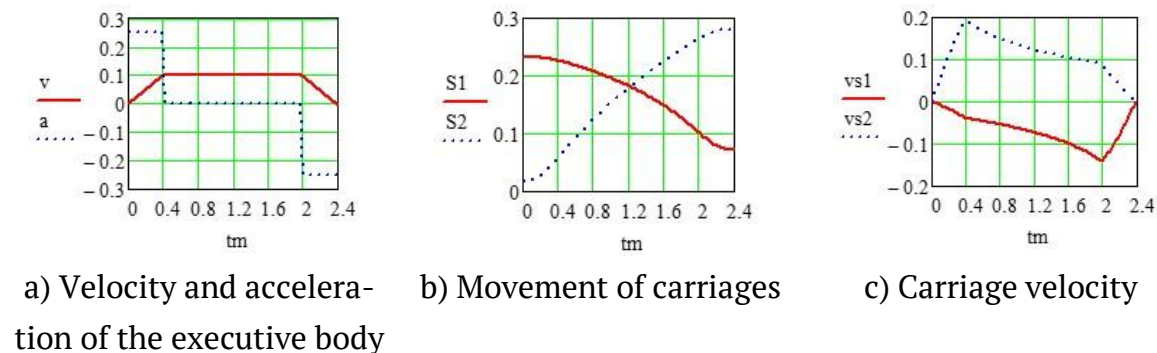


Figure 3 – Simulation results of the parallel manipulator behavior under ideal conditions

To determine the mathematical model of this system, first studied its individual components. Two-phase hybrid stepper motors [3] are used to move the working body. The block diagram of the closed-loop control system of a hybrid stepper motor is presented in fig. 4.

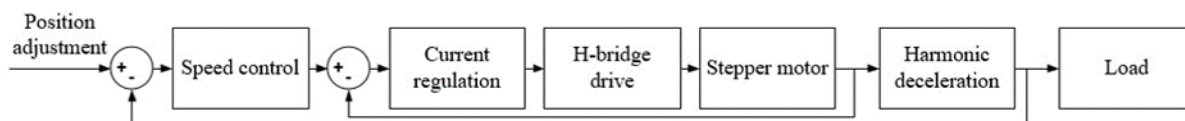


Figure 4 – Block diagram of the closed-loop control system

The inner circuit implements tracking of the winding current to a given current so that the hybrid stepper motor can smoothly output torque under the micro-step drive. The outer loop is a position loop, the goal is to track the output load at a given position. The transfer function of each stepper motor component is described in the block diagram shown on fig. 5.

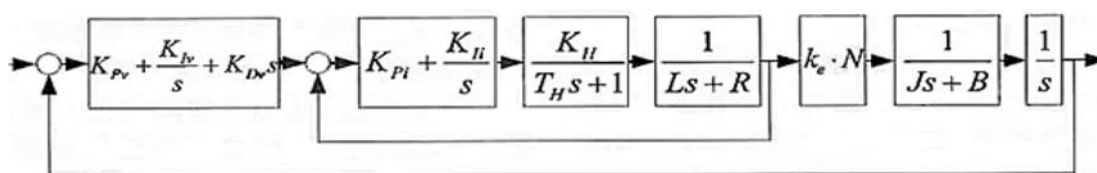


Figure 5 – Block diagram of the transfer function of a stepper motor system

The mechanical motion of the drivers refers to the physical movement and behavior of the mechanical components within the control system that are responsible for translating electrical signals into motion. These drivers play a critical role in controlling the movement of the load and managing the applied load torque. The mechanics of the motion involve the interaction between the stepper motor, load, and the mechanisms that facilitate controlled motion.

The mechanical motion of the drivers can be described as follows:

$$I \frac{d\omega}{dt} + B\omega = T_e - T_L, \quad (1)$$

$$T_L = f(x, y) \rightarrow \text{var}, \quad (2)$$

$$T_e = K_e i_q \text{ or } T_e = K_e N_2 i_q, \quad (3)$$

$$L \frac{di_q}{dt} + Ri_q = u, \quad (4)$$

$$T_H \frac{du}{dt} + u = K_H i_H, \quad (5)$$

$$K_{ii} \int \Delta i dt + K_{pi} \Delta i = i_H, \quad (6)$$

$$K_{D\theta} \frac{d\Delta\theta}{dt} + K_{p\theta} \Delta\theta = i_c. \quad (7)$$

Such that (1) and (2) describe the mechanical motion of the control system's load and the applied load torque, respectively. These equations quantify the relationship between the load's dynamics and the torque being exerted on it. Equations (3) and (4) model the torque applied to the stepper motor shaft and the electrical characteristics of the stepper motor, respectively. These equations establish the relationship between electrical signals and the resulting mechanical torque. Equations (5) illustrates the H-bridge drive, which is a circuit configuration commonly used to control the direction of current flow in a stepper motor. Equations (6) and (7) represent the PI (Proportional-Integral) current and PD (Proportional-Derivative) position regulators, respectively. These equations outline the control mechanisms that adjust the motor's current and position to achieve the desired motion. In equation (7) the integrated component is reduced in order to simplify the calculations.

The stepper motor orchestrates the coordinated motion of parallel actuators in the mechanical world, converting rotating power into linear motion via mechanical linkages. Parallel manipulators use complex equations, transformations, and optimization approaches to synchronize the movements of interconnected links and joints in the world of mathematics. The necessity to achieve harmonious motion in parallel configurations unites both domains while having different mechanisms and mathematical expressions, demonstrating the interplay between mechanical design and mathematical analysis. Therefore, a mathematical model of the system must be used to build a control system.

The aim of the research. This paper aims to explore the application of Model Predictive Control to parallel manipulator, focusing on its design, dynamics, and control strategies. By investigating the interplay between parallel manipulator mechanisms and advanced control techniques, we seek to enhance the performance, accuracy, and versatility of these robotic systems. The integration of MPC into parallel manipulator control offers the potential to address challenges related to trajectory tracking, obstacle avoidance, and efficient energy utilization.

Presentation of the main research material. Due to fig. 1b, the mathematical model that governs the movement of the carriages S_1 and S_2 based on the given

coordinates (x, y) provides a systematic framework to understand and control the motion of the system [4]. This model encapsulates the essential principles that dictate how changes in the input coordinates translate to adjustments in the positions of the carriages.

The mathematical model elucidates the intricate relationship between the input coordinates (x, y) and the movement of the carriages S_1 and S_2 . By establishing this connection, the model facilitates a deeper understanding of the system's behavior and serves as a foundation for effective control and optimization strategies.

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{2} \cdot (S_2 - S_1) \cdot \sqrt{\frac{-(S_2 - S_1)^2 - 4 \cdot l^2 - d^2}{(S_2 - S_1)^2 + d^2}}, \\ y &= \frac{1}{2} \cdot \left(S_2 + S_1 - d \cdot \sqrt{\frac{-(S_2 - S_1)^2 + 4 \cdot l^2 - d^2}{(S_2 - S_1)^2 + d^2}} \right). \end{aligned} \quad (8)$$

The subsequent transformation involves converting an angle, related to the orientation of the carriages, into the corresponding motion of the stepper motor. This transformation is a crucial step in translating desired angular adjustments into specific motor actions.

The transformation equation serves as a bridge between the abstract angular concept and the tangible motion of the stepper motor. This transformation allows for seamless integration of control commands, guiding the stepper motor to achieve the desired positions that correspond to the calculated carriage coordinates. Transformation of the angle to the motion of the stepper motor:

$$S_1 = \theta_1 N_1, \quad S_2 = \theta_2 N_2. \quad (9)$$

The loading torque of a stepper motor is a critical parameter that influences the motor's performance and behavior. It refers to the twisting force exerted on the motor shaft when it is required to move or hold a load, overcoming various resistances and external forces. Understanding loading torque is essential for ensuring the stepper motor operates effectively and reliably in different applications.

Loading torque of the stepper motors is as follows:

$$S_1 : T_{L1} = g_1(\theta_1, \theta_2), \quad (10)$$

$$S_2 : T_{L2} = g_2(\theta_1, \theta_2). \quad (11)$$

Accurately estimating the loading torque is crucial for proper stepper motor selection and control. If the motor is subjected to insufficient torque, it may fail to move or hold the load effectively, leading to missed steps, instability, or stalling. On

the other hand, providing excessive torque can result in excessive power consumption, motor overheating, or even damage to the motor or load.

Here, transforming the coordinates of a working point into the position of a stepper motor is a fundamental process in control systems and robotics. It involves converting abstract spatial coordinates into specific motor movements that drive the system to desired locations. This transformation bridges the gap between conceptual positions and actionable instructions for the stepper motor.

At its core, the transformation of coordinates into stepper motor position involves a multi-step procedure that harmonizes the geometric properties of the system with the mechanical characteristics of the motor. This process can be broken down into several key components:

$$\theta_{i,ref} = y_{ref} + \sqrt{l^2 - (x - x_{i,0})^2}. \quad (12)$$

The control vector is multidimensional, with each element or component corresponding to a distinct aspect of motion control. For instance, in a system with a robotic arm, elements of the vector might dictate joint velocities, angles, or even end effectors forces. In the realm of autonomous vehicles, the control vector could encompass steering angles, accelerations, or braking forces. The richness of this vector lies in its ability to accommodate various degrees of freedom and dynamic attributes, rendering it a versatile tool for diverse applications.

Then, the control vector is described as:

$$\begin{aligned} u_1 &= \theta_{1,ref}(t), u_2 = \frac{d\theta_{1,ref}(t)}{dt}, u_3 = \frac{d^2\theta_{1,ref}(t)}{dt^2}, \\ u_4 &= \theta_{2,ref}(t), u_5 = \frac{d\theta_{2,ref}(t)}{dt}, u_6 = \frac{d^2\theta_{2,ref}(t)}{dt^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

The control vector, denoted by $\bar{u}$, encompasses a diverse array of variables, each assuming a distinctive role in shaping the trajectory of the system. These elements are associated with specific purposes, contributing to the overall control strategy for the system.

Firstly, u_1 is responsible for controlling angles and directing the influence of $\theta_{1,ref}$ on the system's behavior. It plays a crucial role in determining the orientation of the system. Secondly, u_2 governs the slopes and captures the changes in $\theta_{1,ref}$ over time. Its control allows for adjustments to the rate of change of the angle. Thirdly, u_3 is dedicated to controlling the system's acceleration, and it closely moni-

tors the second derivative of $\theta_{1,ref}$. By regulating acceleration, it manages the system's responsiveness to changes in $\theta_{1,ref}$.

Similarly, the control variables u_4 , u_5 and u_6 take on analogous roles for $\theta_{2,ref}$. They are responsible for controlling the angles, velocities, and accelerations associated with $\theta_{2,ref}$, respectively.

The collective interplay of these control variables governs the system's trajectory, ensuring a coordinated and responsive behavior to achieve desired dynamic responses. The system's performance is guided by the carefully designed control strategy, ensuring efficient and effective control of the system's states and responses.

The vector of the states $\vec{q} = (q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7, q_8)^T$ represents a collection of state variables pertaining to the system under consideration. The individual components of $\vec{q}$ are defined as follows:

$q_1 = \theta_1$ ($q_5 = \theta_2$) corresponds to the first (second) angle in the system;

$q_2 = i_{driver\ 1}$ ($q_6 = i_{driver\ 2}$) denotes the first (second) driver current;

$q_3 = \frac{di_{driver\ 1}}{dt}$ ($q_7 = \frac{di_{driver\ 2}}{dt}$) represents the time derivative of the first (second)

driver current, reflecting its rate of change;

$q_4 = \frac{d^2 i_{driver\ 1}}{dt^2}$ ($q_8 = \frac{d^2 i_{driver\ 2}}{dt^2}$) stands for the second derivative of the first (second)

driver current, indicating its acceleration.

Together, these state variables $\vec{q}$ define the current state of the system and serve as crucial components in modelling and analyzing the system's dynamics and behaviour.

Finally, the mathematical model in space states is suggested as:

$$\begin{aligned}\dot{\vec{q}} &= \mathbf{A} \vec{q} + \mathbf{f}(\vec{q}) + \mathbf{B} \vec{u}, \\ \vec{y} &= \mathbf{C} \vec{q},\end{aligned}\tag{14}$$

where we have

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & a_{56} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{85} & a_{86} & a_{87} & a_{88} \end{pmatrix},$$

where

$$a_{11} = \frac{-B}{I}, a_{12} = \frac{K_e}{I}, a_{55} = \frac{-B}{I}, a_{56} = \frac{K_e}{I},$$

$$a_{41} = \frac{-K_{li} K_H B}{T_{li} L K_e}, a_{42} = \frac{-K_{li} K_H I}{T_{li} L K_e}, a_{43} = \frac{-R - K_{Pi} K_M}{T_{li}}, a_{44} = -\frac{1}{T_{li}} - \frac{R}{L},$$

$$a_{85} = \frac{-K_{li} K_H B}{T_{li} L K_e}, a_{86} = \frac{-K_{li} K_H I}{T_{li} L K_e}, a_{87} = \frac{-R - K_{Pi} K_M}{T_{li}}, a_{88} = -\frac{1}{T_{li}} - \frac{R}{L}.$$

Matrix **A** is structured to embody the interactions between specific state variables, showcasing the interconnectedness of the system's dynamics. Each a_{ij} element of the matrix **A** corresponds to the coefficient of the j -th state variable in the differential equation governing the rate of change of the i -th state variable. In other words, a_{ij} represents how the j -th state variable influences the rate of change of the i -th state variable. a_{11} could represent how q_1 affects its own rate of change, a_{41} might indicate how q_1 influences the rate of change of q_4 , and so on. Similarly, matrix **B** embodies the role of control inputs, highlighting their influence on steering the system's evolution.

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{84} & b_{85} & b_{86} \end{pmatrix},$$

where

$$b_{41} = \frac{K_{li} K_H K_{P\theta}}{T_{li} L}, b_{42} = \frac{K_{Pi} K_H K_{P\theta} + K_{li} K_H K_{D\theta}}{T_{li} L}, b_{43} = \frac{K_{Pi} K_H K_{D\theta}}{T_{li} L},$$

$$b_{84} = \frac{K_{li} K_H K_{P\theta}}{T_{li} L}, b_{85} = \frac{K_{Pi} K_H K_{P\theta} + K_{li} K_H K_{D\theta}}{T_{li} L}, b_{86} = \frac{K_{Pi} K_H K_{D\theta}}{T_{li} L}.$$

The vector **f** elegantly encapsulates nonlinear effects, showcasing their dependence on specific state variables.

$$\mathbf{f} = (g_1(q_1, q_5) \quad 0 \quad 0 \quad f_1(q_1, q_5) \quad g_2(q_1, q_5) \quad 0 \quad 0 \quad f_2(q_1, q_5))^T,$$

where

$$g_1(q_1, q_5) = -\frac{1}{I} T_{L1}, g_2(q_1, q_5) = -\frac{1}{I} T_{L2},$$

$$f_1(q_1, q_5) = -\frac{K_H K_L}{T_H L K_L} T_{L1}, \quad f_2(q_1, q_5) = -\frac{K_H K_L}{T_H L K_L} T_{L2}.$$

Moreover, Matrix **C** is designed to extract pertinent information from the state vector, allowing for a focused understanding of the system's behavior through the observed outputs. It is obtained by

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Based on the state-space model, it becomes possible to design a model predictive control (MPC).

MPC is a sophisticated control strategy that anticipates future system behavior using a mathematical model and optimization techniques. In MPC design, a dynamic model of the system is created, and predictions are made for its future states based on different control inputs. The controller then optimizes a sequence of control actions over a defined prediction horizon to steer the system toward desired performance while accounting for constraints and disturbances. This predictive approach, coupled with real-time feedback, enables MPC to finely orchestrate complex processes and systems, ensuring optimal decision-making and responsive control in a wide range of applications across industries.

Suggested following MPC designing:

$$\min_{u_1 \dots u_6} \int (\Delta \bar{q}^T \mathbf{Q} \Delta \bar{q} + \Delta \bar{u}^T \mathbf{R} \Delta \bar{u}) dt, \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{subj. to } \dot{\bar{q}} &= \mathbf{A} \bar{q} + \mathbf{f}(\bar{q}) + \mathbf{B} \bar{u}, \\ \bar{y} &= \mathbf{C} \bar{q}, \end{aligned} \quad (16)$$

$$0 \leq u_1, u_4 \leq H, \quad |u_2, u_5| \leq V_{\max}, \quad |u_3, u_6| \leq a_{\max}, \quad (17)$$

$$0 \leq q_1, q_5 \leq H, \quad q_2, q_6 \leq i_{\text{driver max}}. \quad (18)$$

The MPC model presented offers a powerful framework for steering dynamic systems along precise trajectories. The essence of this model lies in its ability to optimize control inputs, represented by $u_1, \dots, u_6$, to minimize a performance cost over time. This cost, expertly expressed as a quadratic combination of state deviations $\Delta \bar{q}$ and control increments $\Delta \bar{u}$, underscores the strategy's focus on achieving both stability and efficiency.

The objective function is to minimize a quadratic cost over the time horizon. The cost function consists of two parts: a state cost **Q** (a positive semi-definite matrix that weighs the importance of different state variables) and a control input cost **R** (a positive definite matrix that weighs the importance of different control inputs).

The model (16) embraces a set of dynamic constraints that encode the system's behavior. To ensure practicality, the model enforces a set of bounds (17)-(18) that reflect physical and operational limitations. The goal of the MPC is to minimize this cost function (15) with respect to the control input sequence $\bar{u}$.

The optimization problem is solved over a finite time horizon, where the state and control input trajectories are predicted for a certain future time period. Overall, MPC enables optimal decision-making and responsive control by leveraging predictive models and optimization techniques, making it applicable across a wide range of industries and applications. The mathematical model provides a rigorous framework for understanding and controlling the motion of parallel manipulators, laying the groundwork for further analysis and optimization.

Conclusion. In conclusion, the integration of Model Predictive Control (MPC) into parallel manipulator systems offers a promising avenue for advancing their control capabilities and performance across various applications. Through comprehensive exploration of the fundamental principles underlying parallel manipulators and the inherent power of MPC, the potential benefits of combining these technologies can be realized.

REFERENCES

1. Parallel Manipulators Applications. Modern Mechanical Engineering. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/235456946_Parallel_Manipulators_Applications-A_Survey.
2. Nilova D. Analysis of the Kinematics Problems of a Two-Drive Mechanism with a Parallel Structure / D. Nilova, A. Rudakova, H. Rudakova. // Proceedings of the X All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists on Automatic Control Dedicated to the Day of Astronautics. – 2023. – pp. 49–52.
3. Xu W. Derivation of Transmission Function Model of Two-phase Hybrid Stepping Motor / W.Xu, J.Yan. // SPACE ELECTRONIC TECHNOLOGY. – 2011. – №3. – pp.50–53.
4. Neural Network Model for Laboratory Stand Control System Controller with Parallel Mechanisms / [V. Shymkovych, A. Rudakova, Y. Lebedenko et al.]. // Advances in Computer Science for Engineering and Education VI. ICCSEEA 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer. – 2023. – № 181. – pp. 47-58.

ЛІТЕРАТУРА

1. Parallel Manipulators Applications. Modern Mechanical Engineering. 2012. URL: https://www.researchgate.net/publication/235456946_Parallel_Manipulators_Applications-A_Survey.
2. Нілова Д.А. Аналіз задач кінематики двохприводного механізму з паралельною структурою. / Д.А. Нілова, А.А. Рудакова, Г.В. Рудакова // Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України: Збірник наукових праць. – Херсон-Хмельницький: Вид-во ФОП Вишемирський В.С., 2023. – С. 49-52.
3. Xu W. Derivation of Transmission Function Model of Two-phase Hybrid Stepping Motor / W.Xu, J.Yan. // SPACE ELECTRONIC TECHNOLOGY. – 2011. – №3. – pp.50–53.
4. Neural Network Model for Laboratory Stand Control System Controller with Parallel Mechanisms / [V. Shymkovych, A. Rudakova, Y. Lebedenko et al.]. // Advances in Computer Science for Engineering and Education VI. ICCSEEA 2023. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies. Springer. – 2023. – № 181. – pp. 47-58.

Received 20.05.2024.

Accepted 22.05.2024.

Проектування системи керування з прогнозуючою моделлю для двоприводного маніпулятора паралельної структури

Ця стаття має на меті вивчити застосування моделі прогнозованого керування до паралельного маніпулятора, зосереджуючись на його конструкції, динаміці та стратегіях керування. Інтеграція MPC у паралельне керування маніпулятором дає потенціал для вирішення проблем, пов'язаних із відстеженням траєкторії, уникненням перешкод та ефективним використанням енергії. Математична модель забезпечує точну основу для розуміння та керування рухом паралельних маніпуляторів, закладаючи основу для подальшого аналізу та оптимізації. Завдяки всебічному дослідженню фундаментальних принципів, що лежать в основі паралельних маніпуляторів, і внутрішньої потужності MPC можна реалізувати потенційні переваги поєднання цих технологій.

Рудакова Антоніна Андріївна – студент Університета Ватерлоо, Канада.

Лебеденко Юрій Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційний та комп'ютерних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну.

Рудакова Ганна Володимирівна – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Нілова Дар'я Андріївна – аспірант кафедри автоматизації, робототехніки і мехатроніки Херсонського національного технічного університету.

Rudakova Antonina – student of the University of Waterloo, Canada.

Lebedenko Yurii – Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information and Computer Technologies, Kyiv National University of Technology and Design.

Rudakova Hanna – Doctor of technical sciences, Professor, Professor of Automation, Robotics and Mechatronics Department, Kherson National Technical University.

Nilova Daria – graduate student of the Department of Automation, Robotics and Mechatronics, Kherson National Technical University.

Д.О. Остапець, В.В. Дзюба, В.В. Русецький

ЗАСОБИ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА АВТЕНТИФІКАЦІЇ ЗА ОБЛИЧЧЯМ

Анотація. В роботі розглядаються принципи розробки та організація програмних засобів для вивчення механізму біометричної автентифікації за обличчям. Засоби можуть бути використані в навчальному процесі. Метою роботи є розробка засобів. Вирішувані задачі: вибір набору ключових точок обличчя, відрізків між ними та їх співвідношень; розробка структури та програмного забезпечення комплексу засобів. Представлено організацію комплексу засобів. Програмне забезпечення розроблено на мові C++ з використанням додаткових бібліотек, наведено основні приклади та етапи його роботи.

Ключові слова: ідентифікація, автентифікація, біометрія, обличчя, ключові точки, OpenCV, Dlib.

Постановка проблеми. В сучасних інформаційних та телекомунікаційних системах все актуальнішим стає питання захисту інформації, одним із шляхів вирішення якого є впровадження механізмів та систем ідентифікації та автентифікації користувачів, серед яких все більшої популярності набувають системи біометричної ідентифікації та автентифікації. Серед найпопулярніших, найуживаніших та давно відомих біометричних методик є біометрія обличчя. На сьогодні існує велика кількість систем, що використовують такі методики. Отже, задача вивчення методів машинного розпізнавання та порівняння облич в механізмах ідентифікації та автентифікації під час підготовки та підвищення кваліфікації відповідних фахівців або в навчальному процесі студентів є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біометрія обличчя відноситься до статичних біометричних методик, що використовують для автентифікації фізіологічні відмінні риси та особливості особи – користувача. Методики біометрії обличчя поділяються на методики за формою і геометрією обличчя, або, іншими словами, на двовимірні та тривимірні (2-D та 3-D) [1].

2-D методики базуються на визначенні ключових точок обличчя (положення носа, підборіддя, очей, лоба, тощо) [2]. Після створення ключових точок

формується векторна модель обличчя, за якою в подальшому визначається відмінна характеристика. Головною перевагою таких методик є те, що за умови використання відповідного обладнання, можливе розпізнавання особи на значних відстанях. Недоліки методик пов'язані з вимогами до умов роботи: яскраве освітлення, кут повороту обличчя, наявність окулярів, борода і т.і.

3-D методики складніші в реалізації, але прості в використанні [2]. В основному, всі методики, які базуються на геометрії обличчя, відрізняються тим, що використовують різні частини обличчя для формування особливостей користувача, а також різним обладнанням для зняття показників. Основною відмінністю є те, що такі методики передбачають формування тривимірної моделі на основі декількох двовимірних знімків. Кількість знімків або кадрів варіюється, але чим вона більше, тим більша точність роботи. Для побудови тривимірної моделі можуть використовуватися одна або декілька камер. Відомими методами формування тривимірної моделі є: зворотна стереофотограмметрія, стереоскопія, лазерне сканування. Перевагами таких методик є порівняно більша стійкість до зламу, низька чутливість до зміни положення обличчя, висока швидкість опрацювання вхідних даних. Головним недоліком є порівняно висока вартість обладнання.

Мета дослідження. Метою роботи є розробка програмних засобів вивчення 2-D методик біометричної автентифікації за обличчям. Розроблювані програмні засоби можуть бути використані в навчальному процесі. В роботі відповідно до мети поставлені такі задачі: вибір набору ключових точок обличчя, відрізків між ними та їх співвідношень; розробка структури та програмного забезпечення комплексу засобів.

Основний матеріал дослідження. При порівнянні облич еталона та кандидата можна виділити такі етапи:

- Знаходження обличчя на фото;
- Формування ключових точок;
- Нормалізація;
- Формування відрізків;
- Формування співвідношень;
- Порівняння співвідношень.

На етапі нормалізації відбувається геометричне викривлення фото кандидата для усунення помилкових даних. Для цього використовується алгоритм RANSAC, який формує модель спостереження. Шляхом обирання випадкових точок формуються помилкові спостереження (т. зв. викиди) та правильні спо-

стеререження. Якщо багато спостережень в моделі приходять на правильні, то і модель вважається правильною і використовується для нормалізації [3].

Формування відрізків відбувається у вигляді відстані між ключовими точками (у вигляді Евклідової норми). Евклідова норма являє собою корінь із суми квадратів координат вектора. Для використання в навчальних цілях сформовано десять відрізків і п'ять співвідношень між ними (попарно перший с другим, третій с четвертим і т.д. – див. рис. 1):

- Відрізок L1 між внутрішніми куточками очей;
- Відрізок L2 між крайньою верхньою точкою на носі та нижньою точкою на підборідді;
- Відрізок L3 між зовнішніми кутами очей;
- Відрізок L4 прямої частини носу;
- Відрізок L5 між кутами лівого ока;
- Відрізок L6 - ширина лівого ока;
- Відрізок L7 між кутами правого ока;
- Відрізок L8 - ширина правого ока;
- Відрізок L9 між куточками губ;
- Відрізок L10 між крайніми точками носа.

Для кожного співвідношення за результатами аналізу статистичних даних визначені гранично допустимі похибки (відхилення між еталоном і кандидатом). Для співвідношень першого і другого відрізків була обрана допустима похибка 10%, для третього і четвертого 15%, п'ятого і шостого 15%, сьомого і восьмого 15%, дев'ятого та десятого 10%. Також, треба зауважити, що фото проходить перевірку при співпадінні 4-х та більше співвідношень.

Розроблюваний комплекс засобів складається із додатку, в якому буде проводитися автентифікація, баз фотографій різного розміру у форматі jpeg та моделі знаходження точок. Вимогами до фото кандидату (який буде проходити автентифікацію) є: наявність обличчя на фото, фото має бути у загальновикористовуваних форматах (jpeg, png і т.д.) та мати розмір не менше ніж 300 на 300 пікселів.

Для розробки програми було вирішено використовувати мову програмування C++ та середовище програмування Visual Studio 2022. Крім того, використані додаткові бібліотеки OpenCV [4], Dlib [5] та wxWidgets [6].

OpenCV [4] являє собою бібліотеку комп'ютерного зору, яка необхідна для конвертування зображень у єдиний формат, з яким можуть працювати інші бі-

бліотеки. Також OpenCV використовується для графічного відображення відрізків та точок на фото.

Dlib [5] – бібліотека, яка має потужний функціонал роботи зі штучним інтелектом для знаходження облич і ключових точок на них. В бібліотеці існує модель, яка робить можливим за її допомогою знайти 68 ключових точок на обличчі.

wxWidgets [6] – бібліотека для створення графічного інтерфейсу, яка має необхідні інструменти, такі як створення багатьох вкладок (notebook) та таблиць.

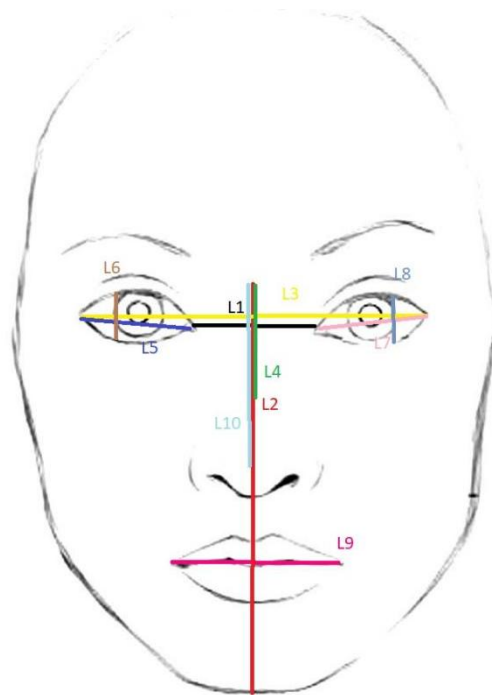


Рисунок 1 – Схематичне зображення відрізків на обличчі

Розроблений комплекс засобів можна використовувати в навчальному процесі для демонстрації етапів біометричної ідентифікації та автентифікації за обличчям. Комплекс дозволяє розглянути такі етапи:

- знаходження ключових точок на обличчі;
- формування відрізків на основі знайдених ключових точок;
- формування співвідношень на основі сформованих відрізків;
- зрівняння відрізків з відображенням результату зрівняння;
- знаходження значень співвідношень, сформованих на основі відрізків.

Приклади основних етапів роботи комплексу та відповідних екранних форм (вікон) наведені на рис. 2 – 6. Приклад екранної форми завантаження вихідних даних з використанням фото з відкритих джерел наведений на рис. 2.

Етапи формування ключових точок та нормалізації в програмі об'єднані. Приклади результатів роботи вказаних етапів з використанням фото з відкритих джерел наведені на рис. 3 та 4. В обох наведених випадках формування ключових точок та нормалізація пройшла нормально.

Наступним етапом є формування відрізків, програма формує відрізки без втручання користувача. Приклад результату наведено на рис. 5.

Наступним етапом роботи є розрахунок співвідношень відрізків та їх порівняння. Програма виводить результат на екран у вигляді відрізків, що співпали на схематичному малюнку та відповідним записом в таблиці. Приклад результату наведено на рис. 6.

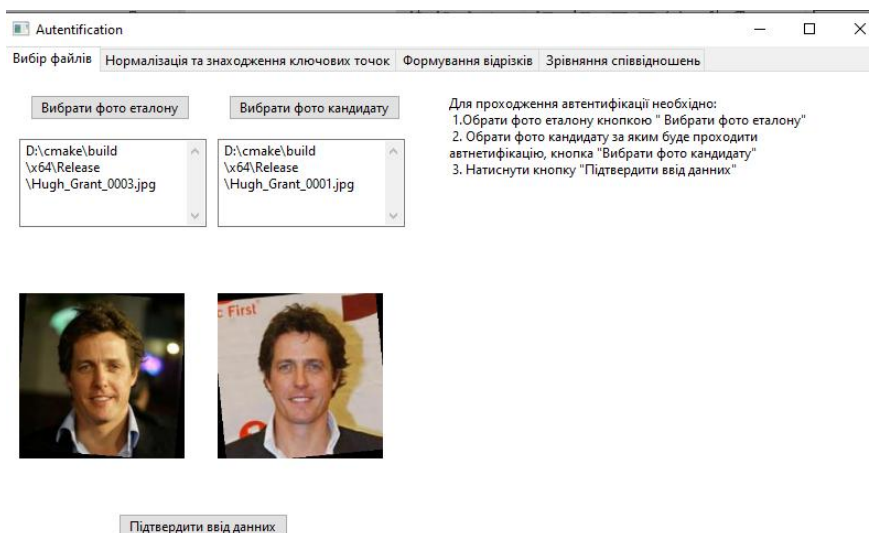


Рисунок 2 – Вікно завантаження фото еталона та кандидата



Рисунок 3 – Знаходження ключових точок при коректно поданих фото



Фото еталону за яким проводилась нормалізація



Фото кандидату із проведеною нормалізацією

Рисунок 4 – Знаходження ключових точок при поверненому обличчі кандидату

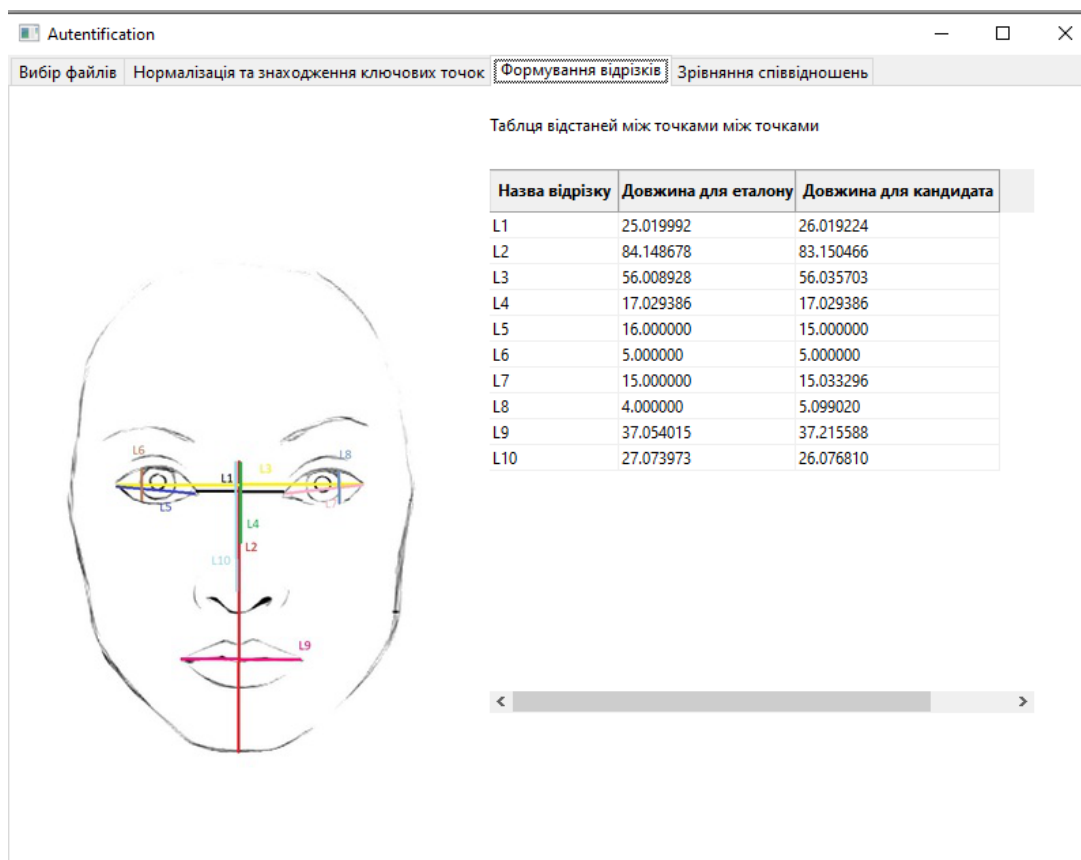


Рисунок 5 – Приклад результату формування відрізків

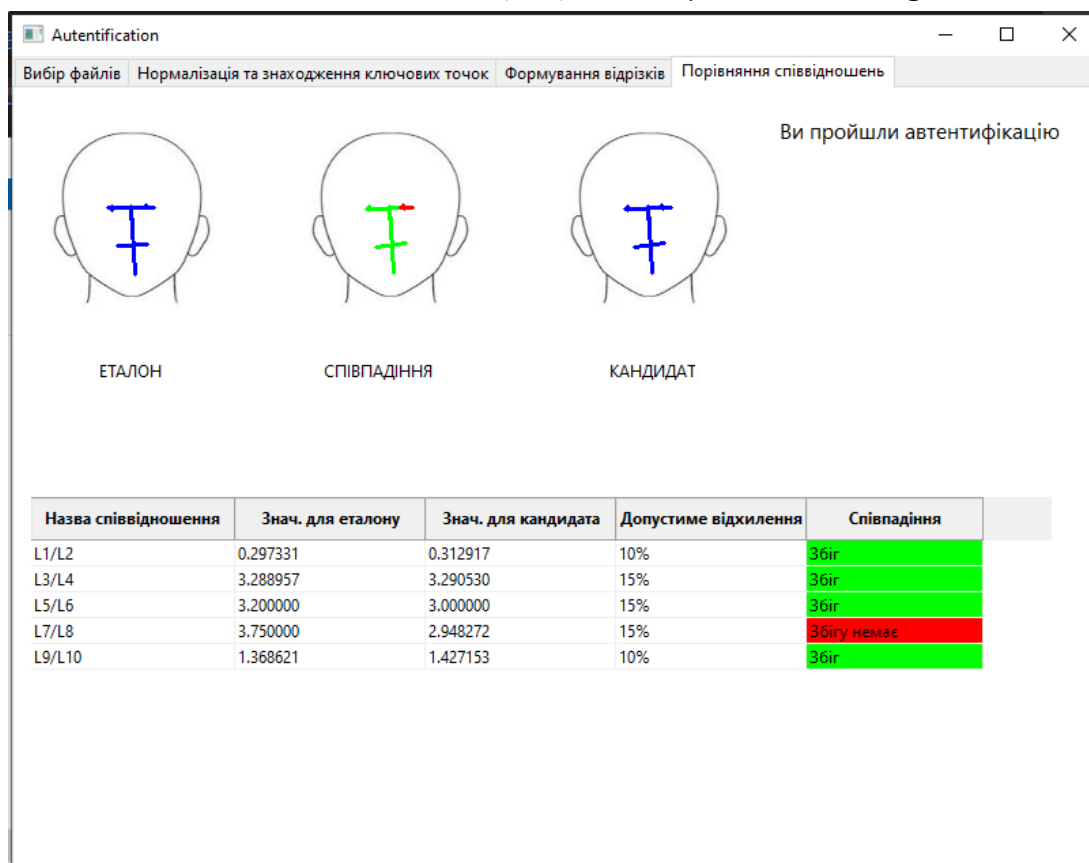


Рисунок 6 – Приклад результату порівняння співвідношень відрізків

Розроблена програма може бути використана в навчальних цілях у якості демонстраційного засобу, наприклад при проведенні лабораторних або практичних занять студентам.

Висновки. В роботі розглянуті принципи розробки та організація програмних засобів для вивчення біометричної ідентифікації та автентифікації за обличчям. За результатами аналізу статистичних даних зроблено вибір відрізків і співвідношень між ними, для кожного співвідношення визначені гранично допустимі похибки (відхилення між еталоном і кандидатом). В рамках роботи розроблено програмне забезпечення на мові C++ з використанням бібліотек OpenCV, Dlib та wxWidgets. Наведено основні приклади та етапи програми. Показано, що розроблені засоби можуть бути використані в навчальному процесі.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Smith R. Authentication: From Passwords to Public Keys // Addison-Wesley Professional - 2001 - 549 P.
2. Zhao W., Rong X., Xiaogang W. Advances in Face Detection and Facial Image Analysis // Springer - 2016 - 444 P.

3. OpenCV documentation. URL: <https://docs.opencv.org/> (дата звернення: 01.02.2024)
4. OpenCV (Open Source Computer Vision Library). URL: <https://opencv.org/> (дата звернення: 01.02.2024)
5. Dlib C++ Library. URL: <http://dlib.net/> (дата звернення: 01.02.2024)
6. wxWidgets Cross-Platform GUI Library. URL: <https://www.wxwidgets.org/> (дата звернення: 01.02.2024)

Received 24.05.2024.

Accepted 27.05.2024.

Tools for studying of facial identification and authentication

One of the most common and popular among biometric techniques is biometry of face. Currently, a large number of information systems have been created using these techniques. Thus, there is a problem of studying the methods of machine face recognition during the training of relevant specialists. The aim of the work is to develop a software tools for studying the mechanism of biometric face authentication. Face is static biometry methodic. For implementation in the developed tools the method of comparison on key points was chosen. The main stages of comparing faces are: finding a face in a photo, formation of key points, normalization, formation of segments, formation of relations, comparison of ratios. A high-level cross-platform programming language C++ with the use of additional libraries was chosen to develop the software of the tools. An open face database was used to work with the tools. The tools have a demonstration nature. During its use, you can explore and study all the components of the process of biometric identification and authentication of the user by face: demonstration of the process of finding of key points on the face, forming of distances between points, calculating of their ratios and their comparison; comparison of etalon and candidate photos during the procedure of identification and authentication and response. Examples of the main processing stages of the complex and the corresponding screen forms (windows) are given. The composition of the tools and software are developed in the work, the main examples and stages of its work are given. It is shown that the tools can be used in the educational process, for example in laboratory or practical classes.

Остапець Денис Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри «Електронні обчислювальні машини» Українського державного університету науки і технологій, ORCID: 0000-0003-1778-7770.

Дзюба Володимир Володимирович – старший викладач кафедри «Електронні обчислювальні машини» Українського державного університету науки і технологій, ORCID: 0000-0003-3008-5669.

Русецький Владислав Вікторович – студент Українського державного університету науки і технологій.

Ostapets Denys – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of «Electronic computers» department of Ukrainian State University of Science and Technologies, ORCID: 0000-0003-1778-7770.

Dziuba Volodymyr – senior lecturer of «Electronic computers» department of Ukrainian State University of Science and Technologies, ORCID: 0000-0003-3008-5669.

Rusetskyi Vladyslav – student of Ukrainian State University of Science and Technologies.

В.Ю. Царик, Д.М. Бичкова, С.М. Кліщ, Ю.О.Каліберда

КОНКУРЕНТНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРОГРАМНИХ ЗАСТОСУНКІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ МЕНТАЛЬНОГО ЗДОРОВ'Я

Анотація. Робота полягає у проведенні конкурентного аналізу існуючих програмних застосунків, спрямованих на покращення ментального здоров'я людей. Визначено функціональні вимоги до мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я та проведено конкурентний аналіз існуючих застосунків. Було проаналізовано 10 застосунків, які надають користувачам різноманітні інструменти для самовдосконалення та розвитку позитивних стратегій копіngu зі стресом та негативними емоціями. За допомогою цих застосунків користувачі можуть скористатися медитацією, психологічними тестами, плануванням та веденням щоденника настрою, психологічною підтримкою через чат бота або інтерактивну терапію, а також іграми та завданнями для підвищення позитивного мислення. Однак вони також мають свої відмінності. Деякі з них спеціалізуються на конкретних аспектах психічного здоров'я, наприклад, медитації (Svitlo, Tuша, Calm), допомозі при депресії (MoodTools), або психологічному тестуванні (PsychTests). Деякі, як Talkspace і Youper, пропонують психологічну підтримку через чат бота або інші інтерактивні інструменти. Деякі застосунки, як Happify та BetterMe, акцентують на підвищенні емоційного благополуччя та психологічному розвитку. Серед обраних застосунків немає жодного, який би повністю задовольняв вимогам, які ми висуваємо до нашого застосунку. Серед відчислених рішень наявні лише медитативні практики. Тож розробка такого застосунку буде актуальною та корисною для українського суспільства.

Ключові слова: конкурентний аналіз, програмні застосунки, покращення ментального здоров'я, психічне здоров'я

Постановка проблеми. У сучасному світі питання психічного здоров'я є одним з найбільш актуальних. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 450 мільйонів людей по всьому світу страждають від різних психічних розладів, з яких багато можна попередити та вилікувати [1]. Україна, як і багато інших країн, не є винятком і стикається з проблемами у цій сфері. За даними МОЗ України, станом на початок листопада 2022 року за допомогою до психологів і психіатрів звернулися 650 тис. українців. Для порівняння, у 2019-

му за психіатричною допомогою звернулося близько 302 тис. громадян. За останніми даними:

- 71% українців відчують стрес або знервованість;
- лише 2% українців звертаються до фахівця.

Недостатність доступу до психологічної допомоги та підтримки є серйозним обмеженням для багатьох українців, особливо для тих, хто проживає у віддалених регіонах або має обмежені можливості для отримання кваліфікованої допомоги.

У зв'язку з цим, розробка мобільного застосунку для підтримки ментального здоров'я стає актуальним завданням. Такий застосунок може стати доступним та ефективним інструментом для покращення психічного стану українського населення. Проте, успішна розробка такого застосунку вимагає комплексного підходу та уваги до деталей.

Мета дослідження. Визначення функціональних вимог до мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я та проведення конкурентного аналізу існуючих застосунків.

Визначення функціональних вимог до мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я.

1. Бот «особистий психолог»:

- Застосунок може використовувати штучний інтелект для функціонування чат-бота, який може вести бесіди з користувачами про їхні проблеми з ментальним здоров'ям.
- Бот може надавати користувачам підтримку та поради, а також може допомогти їм знайти ресурси та допомогу.

2. Тести для самооцінки:

- Застосунок може пропонувати користувачам пройти тести для оцінки рівня стресу, тривоги, депресії та інших аспектів ментального здоров'я.
- Результати тестів можуть допомогти користувачам краще зрозуміти свій стан та визначити, яка допомога їм потрібна.

3. Особистий щоденник:

- Застосунок може пропонувати користувачам вести особистий щоденник, де вони можуть записувати свої думки, почуття та досвід.
- Ведення щоденника може допомогти користувачам краще зрозуміти себе та свої проблеми, а також може допомогти їм відстежувати свій прогрес.

4. Статті:

- Застосунок може пропонувати користувачам доступ до науково-обґрунтованих статей про ментальне здоров'я, психологічні розлади та способи їх подолання.
- Статті можуть допомогти користувачам дізнатися більше про свої проблеми та знайти способи їх вирішення.

5. Контакти онлайн психолога:

- Застосунок може пропонувати користувачам можливість зв'язатися з онлайн-психологом для отримання професійної допомоги.
- Онлайн-психолог може допомогти користувачам діагностувати та лікувати проблеми з ментальним здоров'ям.

6. Мапа «психологи поруч»:

- Застосунок може пропонувати користувачам мапу з психологами, які працюють у їхньому районі. Це може допомогти користувачам знайти психолога, з яким вони можуть зустрітися особисто.

7. Різноманітні практики:

- Застосунок може пропонувати користувачам різноманітні практики для покращення ментального здоров'я, такі як:
 - о Дихальні вправи
 - о Медитації
 - о Музика для медитацій
 - о Історії на ніч
 - о Звуки для релаксації

8. Змінюйся і розвивай корисні навички:

- Застосунок може допомогти користувачам розвивати корисні навички, такі як:
 - о Відповідальність
 - о Позитивне ставлення до проблем
 - о Внутрішня гармонія
 - о Позитивне ставлення до себе

Застосунок може бути персоналізований для потреб кожного користувача. Користувачі можуть вибрати, які функції їм потрібні, і налаштувати їх відповідно до своїх потреб.

Конкурентний аналіз програмних застосунків для ментального здоров'я. Для проведення аналізу відібрали відповідні за тематикою та функціоналом застосунки, які доступні в Україні та за кордоном та визначили їх переваги та недоліки. Для аналізу були взяті наступні застосунки:

1. Svitlo – Медитації українською (Україна)
2. Тиша – Медитації українською (Україна)
3. BetterMe: Ментальне здоров'я (Україна)
4. VOS – План психічного здоров'я (Україна)
5. PsychTests (Польща)
6. Happify (США, Нью-Йорк)
7. My Mood Tracker: Mood Control (Польща)
8. Calm – Sleep, Meditate, Relax (США)
9. Talkspace Therapy & Counseling (Польща)
10. Youper – CBT Therapy Chatbot (США, Сан-Франциско)

Українські додатки для медитацій: Svitlo - Медитації українською, Тиша – Медитації українською та BetterMe: Ментальне здоров'я.

Український додаток Svitlo [3] після встановлення пропонує пройти тест, щоб визначити емоційний стан або ж, можна просто обрати медитацію за настроєм. Тут також є практики для більш міцного сну, зниження тривоги та ранкові заняття. Особливість застосунку — можна зберігати обрані записи, щоб прослухати їх офлайн. [2]

За словами розробників «Тиші» [4], це - провідник до внутрішнього спокою та ментального здоров'я. Місія застосунку – допомогти українцям розвинути навичку регулювання стресу, покращити стосунки з собою та ввести усвідомлені звички в своє життя. В ньому доступні практики для заспокоєння розуму, покращення якості сну та зміцнення психологічної стійкості.

BetterMe: Ментальне здоров'я [5] – цей застосунок пропонує програми для комплексної турботи про ментальне здоров'я, що містять медитації, техніки самодопомоги та дихальні вправи. Особливість застосунку— історії на ніч. Це короткі розповіді чи уривки книжок українських письменників, що читає Олеся Кравець та інші диктори. Додаток безплатний.

Дані застосунки схожі за своїм функціоналом, тому дамо загальні характеристики для них:

Переваги:

- Україномовний контент: Даний застосунок надає можливість користувачам працювати з медитаціями, що виконані українською мовою, що сприяє більш глибокому розумінню та сприйняттю.
- Легкий доступ: Застосунок може забезпечити легкий доступ до медитативних вправ українською мовою, що особливо важливо для тих, хто шукає

глибокий контакт із своїми внутрішніми процесами через мову рідного середовища.

- **Культурна зв'язаність:** Для українців або тих, хто цікавиться українською культурою, цей застосунок може надати унікальний досвід медитації, відображаючи та підтримуючи їхню культурну ідентичність.

Недоліки:

- **Обмежений контент:** Якщо контент застосунку обмежений, користувачі можуть швидко вичерпати доступні медитативні ресурси.

- **Мовний контекст:** Для тих, хто не володіє українською мовою, цей застосунок може бути непридатним або менш ефективним через мовні бар'єри.

VOS – План психічного здоров'я [6]. Це цілісна платформа, розроблена психологами, які допоможуть користувачам створити позитивний образ себе та духовну силу завдяки особистому плану благополуччя.

Переваги:

- **Персоналізований план:** VOS використовує штучний інтелект, щоб створити персоналізований план психічного здоров'я на основі ваших потреб та вподобань. Цей план може включати в себе різні інструменти та ресурси, такі як ведення щоденника, відстеження настрою, дихальні вправи, медитацію, афірмації та доступ до терапевта.

- **Цілодобова підтримка:** Додаток пропонує цілодобовий чат з консультантами, які можуть надати емоційну підтримку та допомогти вам вирішити ваші проблеми. У разі потреби вас також можуть з'єднати з ліцензованим психологом.

- **Відстеження прогресу:** VOS дозволяє відстежувати ваш настрій та прогрес з часом. Це може допомогти вам побачити, які методи працюють для вас, а які ні.

- **Простота використання:** Додаток має простий та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що робить його легким у використанні.

- **Доступність:** VOS доступний безкоштовно в App Store та Google Play.

Недоліки:

- **Не всі функції доступні безкоштовно:** Деякі з найкорисніших функцій VOS, такі як доступ до терапевта, доступні лише за підпискою.

- **Обмежена конфіденційність:** Деякі користувачі висловили занепокоєння щодо конфіденційності своїх даних у VOS. Важливо прочитати політику конфіденційності програми, перш ніж її використовувати.

- **Доступність мов:** Зараз VOS доступний лише англійською мовою.

PsychTests [7]. Застосунок є інструментом для проведення психологічних тестів та оцінювання психологічних параметрів. Він містить широкий спектр тестів, що дозволяють користувачам дізнатися більше про себе, свої характеристики, властивості та ставлення до різних ситуацій.

Переваги:

- Широкий спектр тестів: PsychTests пропонує широкий спектр тестів, які охоплюють різні аспекти особистості, когнітивні здібності, емоції та поведінку.
- Безкоштовний доступ: Більшість тестів на PsychTests доступні безкоштовно.
- Простота використання: Веб-сайт PsychTests простий у навігації та використанні.
- Анонімність: Ваші відповіді на тести є конфіденційними.
- Швидкі результати: Більшість тестів дають результати відразу після їх завершення.

Недоліки:

- Не всі тести є науково обґрунтованими: Деякі з тестів, доступних на PsychTests, не пройшли ретельну наукову перевірку.
- Немає професійної інтерпретації: PsychTests не пропонує професійної інтерпретації результатів тестів.
- Може бути неточним: Деякі тести можуть бути неточними або не надійними, якщо їх не проходити в належних умовах.
- Може бути шкідливим: Деякі тести можуть бути шкідливими для людей з певними психологічними проблемами.
- Немає підтримки українською мовою: Наразі PsychTests не підтримує українську мову.

Happify [8]. Застосунок є інструментом для підвищення щастя, зменшення стресу та покращення психічного благополуччя. Він пропонує користувачам різноманітні вправи, ігри та завдання, які базуються на психологічних принципах, щоб допомогти людям розвивати позитивне мислення, покращувати настрій та знижувати рівень стресу.

Переваги:

- Позитивний підхід: Happify зосереджується на позитивній психології, допомагаючи вам зосередитися на хороших речах у своєму житті. Це може допомогти вам покращити свій настрій та загальне самопочуття.

- Різноманітні вправи: Happify пропонує широкий спектр вправ, спрямованих на покращення вашого психічного здоров'я, таких як ігри, медитації, вдячність та когнітивно-поведінкова терапія.

- Спільнота: Happify має активну спільноту користувачів, які можуть підтримати вас на вашому шляху до покращення психічного здоров'я.

- Доступність: Додаток доступний безкоштовно в App Store та Google Play.

Недоліки:

- Не є заміною професійної допомоги: Happify не є заміною професійної допомоги. Якщо ви боретеся з серйозними проблемами психічного здоров'я, важливо звернутися за допомогою до кваліфікованого фахівця.

- Деякі вправи можуть бути не для всіх: Деякі вправи в Happify можуть бути не підходять для людей з певними проблемами психічного здоров'я.

- Обмежена конфіденційність: Деякі користувачі висловили занепокоєння щодо конфіденційності своїх даних у Happify. Важливо прочитати політику конфіденційності програми, перш ніж її використовувати.

- Доступність мов: Зараз Happify доступний лише англійською, іспанською, французькою, німецькою, португальською, італійською та японською мовами.

My Mood Tracker: Mood Control [9]. Застосунок посів 2 місце в конкурсі «Найкращий додаток для здоров'я 2011». Ідеальний компаньйон для відстеження настрою та емоцій, а також усього іншого, що може вплинути на самопочуття.

Переваги:

- Простий та інтуїтивно зрозумілий: Цей додаток має простий інтерфейс, що робить його легким у використанні навіть для людей, які не знайомі з мобільними додатками.

- Відстеження настрою: Додаток дозволяє вам відстежувати свій настрій протягом дня, вибираючи з різних емоцій, таких як щасливий, сумний, злий, тривожний тощо.

- Статистика: My Mood Tracker надає вам статистику вашого настрою протягом тижня, місяця та року. Це може допомогти вам побачити закономірності та ідентифікувати тригери, які впливають на ваш настрій.

- Нагадування: Ви можете встановити нагадування, щоб пити воду, займатися спортом, медитувати або робити інші речі, які покращують ваш настрій.

- Підтримка спільноти: My Mood Tracker має активну спільноту користувачів, які можуть надати підтримку та поради.

Недоліки:

- Немає персоналізації: Додаток не пропонує жодних персоналізованих функцій, таких як персоналізовані плани або рекомендації.
- Обмежені можливості відстеження: Додаток дозволяє відстежувати лише ваш настрій, але не інші фактори, які можуть впливати на ваше психічне здоров'я, такі як сон, харчування або фізична активність.
- Немає доступу до терапевта: My Mood Tracker не пропонує доступу до терапевта або інших фахівців з психічного здоров'я.
- Доступність мов: Зараз додаток доступний лише англійською мовою.

Calm - Sleep, Meditate, Relax [10]. Це популярний застосунок для зняття стресу, покращення сну та психічного благополуччя. Він пропонує користувачам широкий спектр звукових та візуальних ресурсів, таких як звуки природи, музика для релаксації, глибокі медитації та різні вправи для зняття стресу.

Переваги:

- Спокій і релаксація: Calm пропонує широкий спектр медитаційних та релаксаційних вправ, що допомагають заспокоїти розум та тіло.
- Покращений сон: Застосунок пропонує різноманітні звуки для полегшення засинання та поліпшення якості сну.
- Медитація для психічного здоров'я: Calm включає в себе гідовані медитації, спрямовані на зменшення стресу, підвищення уваги та поліпшення загального самопочуття.
- Підтримка фізичного здоров'я: Застосунок може включати в себе такі елементи, як йога-практика або дихальні вправи, які допомагають покращити фізичне самопочуття.
- Поступовий розвиток: Calm надає користувачам можливість поступово розвивати свою практику медитації та релаксації, починаючи з коротких сесій та поступово збільшуючи їх тривалість.

Недоліки:

- Вартість: Деякі функції та контент у застосунку можуть бути доступні лише за плату, що може відлякати деяких користувачів.
- Не для всіх: Хоча багато людей можуть знайти користь у медитації та релаксації, цей підхід може бути не ефективним для всіх користувачів.
- Необхідність сталої практики: Деяким людям може знадобитися час, щоб звикнути до медитаційних технік і побачити результати.

- Відсутність індивідуалізації: Для деяких користувачів може бути важко знайти відповідну для них медитаційну техніку або релаксаційний метод.

Talkspace Therapy & Counseling [11]. Це популярний застосунок для отримання психологічної підтримки та консультування. Він пропонує можливість спілкуватися з ліцензованими психологами та терапевтами через чат, відео- або аудіодзвінки.

Переваги:

- Доступність: Платформа Talkspace надає доступ до терапії та консультування з будь-якого місця, де є Інтернет. Це особливо корисно для тих, хто має обмежену можливість особисто зустрічатися з терапевтом через розміщення, час або інші обставини.

- Комфорт: Деякі люди відчують більшу комфортність в обговоренні особистих проблем за допомогою текстових повідомлень або чату, ніж у відкритому обличчі до обличчя. Застосунок дозволяє вибирати, коли і де ви хочете розмовляти з терапевтом, що може бути зручним для тих, хто має зайнятий графік.

- Кращий доступ до терапевтів: Платформа Talkspace забезпечує можливість спілкування з терапевтами з різними спеціалізаціями та досвідом, дозволяючи знайти того, хто найкраще підходить для ваших потреб.

- Цінова доступність: Порівняно з традиційними сеансами терапії, Talkspace може бути більш доступним фінансово, особливо для тих, хто має обмежені фінансові можливості.

Недоліки:

- Обмеженість в методах: Talkspace зазвичай обмежується текстовим спілкуванням, тоді як інші методи терапії, такі як арт-терапія або групові сесії, можуть бути не доступними або менш ефективними через цю платформу.

- Затримка в спілкуванні: Так як спілкування відбувається через текстові повідомлення, може бути затримка в обміні інформацією, що може ускладнити невідкладні ситуації.

Youper - CBT Therapy Chatbot [12]. Це застосунок, який пропонує консультування за допомогою чат-бота, заснованого на методах когнітивно-поведінкової терапії. Через чат-бота Youper, користувачі можуть проводити різноманітні вправи та завдання, спрямовані на розуміння та зміну шкідливих мислей та патернів поведінки.

Переваги:

- Доступність 24/7: Користувачі можуть отримати підтримку та поради в будь-який час, коли це потрібно, без очікування на час прийому у терапевта.
- Приватність: Взаємодія з чат-ботом забезпечує анонімність та конфіденційність, що може бути важливим для людей, які відчувають стрес чи неспокій стосовно обговорення своїх проблем з іншими людьми.
- Освіченість: Youper надає користувачам інформацію про їхні емоції, реакції та стрес, що допомагає їм краще зрозуміти власні почуття та дії.
- Практичність: Для багатьох користувачів взаємодія з чат-ботом може бути більш зручною, ніж постійні зустрічі з терапевтом.

Недоліки:

- Відсутність людського фактору: Хоча чат-бот може надати певну підтримку, він не може замінити спілкування з реальним терапевтом, особливо в складних ситуаціях.
- Обмежені можливості: Youper, як і будь-який чат-бот, має обмежену здатність розуміти та реагувати на складні емоційні становища.
- Недостатня персоналізація: Взаємодія з чат-ботом може бути менш ефективною для людей із складними та індивідуальними потребами, оскільки він не може адаптуватися до унікальних характеристик кожного користувача.
- Технічні проблеми: Як і у будь-якого програмного забезпечення, можуть виникати технічні проблеми, які можуть перешкоджати ефективності взаємодії користувача з чат-ботом.

Висновки. Програмні застосунки, які проаналізовано в даній роботі, мають спільну мету – допомогти користувачам зберегти або покращити своє психічне здоров'я через різноманітні методи, такі як медитація, психологічні тести, планування та ведення щоденника настрою, психологічна підтримка через чат-бота або інтерактивну терапію, а також ігри та завдання для підвищення позитивного мислення. Вони надають інструменти для самовдосконалення та розвитку позитивних стратегій копінгу зі стресом та негативними емоціями.

Однак вони також мають свої відмінності:

- Деякі з них спеціалізуються на конкретних аспектах психічного здоров'я, наприклад, медитації (Svitlo, Тиша, Calm), допомозі при депресії (MoodTools), або психологічному тестуванні (PsychTests).
- Деякі, як Talkspace і Youper, пропонують психологічну підтримку через чат-бота або інші інтерактивні інструменти.
- Деякі застосунки, як Happify та BetterMe, акцентують на підвищенні емоційного благополуччя та психологічному розвитку.

Серед обраних застосунків немає жодного, який би повністю задовольняв вимогам, які ми висуваємо до нашого застосунку. Серед відчиснених рішень наявні лише медитативні практики. Тож розробка такого застосунку буде актуальною та корисною для українського суспільства.

ЛІТЕРАТУРА

1. World Health Organization. (2021). Mental Health. [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/mental-health#tab=tab_1
2. Олександра Панченко. Топ-7 додатків для сну та медитації: українські та англійські. [Online]. Available: <https://tykyiv.com/health/top-7-dodatkov-dlia-snu-ta-meditatsiyi-ukrayinski-ta-anglomovni/>
3. Офіційний сайт застосунку Svitlo – Медитації українською. [Online]. Available: <https://svitlo.app/>
4. Офіційний сайт застосунку Тиша – Медитації українською. [Online]. Available: <https://www.tysha.app/>
5. Офіційний сайт застосунку BetterMe: Ментальне здоров'я. [Online]. Available: <https://betterme.world>
6. Офіційний сайт застосунку VOS – План психічного здоров'я. [Online]. Available: <https://www.vos.health>
7. Офіційний сайт застосунку PsychTests. [Online]. Available: <https://testyourself.psychtests.com/>
8. Офіційний сайт застосунку Happify. [Online]. Available: <https://www.happify.com/>
9. Офіційний сайт застосунку My Mood Tracker: Mood Control. [Online]. Available: <https://www.mentalhealthmanagement.com.au/>
10. Офіційний сайт застосунку Calm – Sleep, Meditate, Relax. [Online]. Available: <https://www.calm.com/>
11. Офіційний сайт застосунку Talkspace Therapy & Counseling. [Online]. Available: <https://www.talkspace.com/>
12. Офіційний сайт застосунку Youper – CBT Therapy Chatbot. [Online]. Available: <https://www.youper.ai/>

REFERENCES

1. World Health Organization. (2021). Mental Health. [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/mental-health#tab=tab_1
2. Oleksandr Panchenko. Top 7 applications for sleep and meditation: Ukrainian and English. [Online]. Available: <https://tykyiv.com/health/top-7-dodatkov-dlia-snu-ta-meditatsiyi-ukrayinski-ta-anglomovni/>

3. The official website of the Svitlo application - Meditations in Ukrainian. [Online]. Available: <https://svitlo.app/>
4. The official website of the Tysha - Meditations application in Ukrainian. [Online]. Available: <https://www.tysha.app/>
5. BetterMe Official Website: Mental Health. [Online]. Available: <https://betterme.world>
6. Official website of the VOS - Mental Health Plan application. [Online]. Available: <https://www.vos.health>
7. Official website of the PsychTests application. [Online]. Available: <https://testyourself.psychtests.com/>
8. The official site of the Happify application. [Online]. Available: <https://www.happify.com/>
9. Official website of My Mood Tracker: Mood Control app. [Online]. Available: <https://www.mentalhealthmanagement.com.au/>
10. The official site of the Calm - Sleep, Meditate, Relax application. [Online]. Available: <https://www.calm.com/>
11. Talkspace Therapy & Counseling Official Site. [Online]. Available: <https://www.talkspace.com/>
12. Youper - CBT Therapy Chatbot App Official Website. [Online]. Available: <https://www.youper.ai/>

Received 23.05.2024.

Accepted 27.05.2024.

Competitive analysis of existing software applications for improving mental health

Formulation of the problem. In today's world, the issue of mental health is one of the most urgent. Lack of access to psychological help and support is a serious limitation for many Ukrainians, especially for those who live in remote regions or have limited opportunities to receive qualified help.

In this regard, the development of a mobile application to support mental health becomes an urgent task. Such an application can become an accessible and effective tool for improving the mental state of the Ukrainian population.

The aim of the study. Defining the functional requirements for a mobile application to improve mental health and conducting a competitive analysis of existing applications.

Defining functional requirements for a mobile application for improving mental health.

1. Bot "personal psychologist"

2. Self-assessment tests

3. Personal diary

4. Articles

5. *Contacts of an online psychologist*

6. *"Psychologists nearby" map*

7. *Various practices*

8. *Change and develop useful skills*

The application can be personalized for each user's needs. Users can choose which features they want and customize them to suit their needs.

A competitive analysis of mental health software applications.

To carry out the analysis, we selected applications relevant in terms of subject matter and functionality, which are available in Ukraine and abroad, and identified their advantages and disadvantages. The following applications were taken for analysis:

1. *Svitlo – Meditations in Ukrainian (Ukraine)*

2. *Silence - Meditations in Ukrainian (Ukraine)*

3. *BetterMe: Mental health (Ukraine)*

4. *VOS – Mental Health Plan (Ukraine)*

5. *PsychTests (Poland)*

6. *Happify (USA, New York)*

7. *My Mood Tracker: Mood Control (Poland)*

8. *Calm – Sleep, Meditate, Relax (USA)*

9. *Talkspace Therapy & Counseling (Poland)*

10. *Youper – CBT Therapy Chatbot (USA, San Francisco)*

Conclusions. The software applications analyzed in this work have a common goal – to help users maintain or improve their mental health through various methods, such as meditation, psychological tests, planning and keeping a mood diary, psychological support through a chatbot or interactive therapy, as well as games and activities to promote positive thinking. They provide tools for self-improvement and development of positive coping strategies with stress and negative emotions.

However, they also have their differences:

- Some of them specialize in specific aspects of mental health, such as meditation (Svitlo, Silence, Calm), help with depression (MoodTools), or psychological testing (PsychTests).*

- Some, like Talkspace and Youper, offer psychological support through a chatbot or other interactive tools.*

- Some apps, like Happify and BetterMe, focus on improving emotional well-being and psychological development.*

Among the selected applications, there is none that fully meets the requirements that we set for our application. Only meditative practices are available among the clear solutions. Therefore, the development of such an application will be relevant and useful for Ukrainian society.

Keywords: competitive analysis, software applications, improving mental health, mental health

Царик Владислав Юрійович – старший викладач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Бичкова Дар'я Миколаївна – студентка групи КН01-22 Українського державного університету науки і технологій.

Кліщ Сергій Михайлович – старший викладач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Каліберда Юрій Олегович – старший викладач кафедри інформаційних технологій і систем Українського державного університету науки і технологій.

Tsaryk Vladyslav - is a senior lecturer at the Department of Information Technologies and Systems of the Ukrainian State University of Science and Technology.

Daria Bychkova - is a student of group KN01-22 of the Ukrainian State University of Science and Technology.

Klishch Serhii - is a senior lecturer at the Department of Information Technologies and Systems of the Ukrainian State University of Science and Technology.

Kaliberda Yury - is a senior lecturer at the Department of Information Technologies and Systems of the Ukrainian State University of Science and Technology.

ЗМІСТ

CONTENTS

Жуков О.О., Горбенко В.І. Адаптивний підхід до визначення стану вулика за допомогою нейронних мереж та аналізу аудіо	3	Zhukov O.O., Horbenko V.I. Using deep cnn architectures and tensorflow for bee identification on images	3
Величко О.Г., Камкін В.Ю., Рудько К.В., Камкіна Л.В. Аналіз розвитку реакції окислення вуглецю низьковуглецевої сталі в ковші під вакуумом	13	Velichko O.H., Kamkin V.Yu., Rudko K.V., Kamkina L.V. Analysis of the development of the carbon oxidation reaction of low-carbon steel in a bucket under vacuum	13
Журба А.О. Дослідження методу фрактального стиснення зображень з метою покращення якості стиснення	24	Zhurba A.O. Study of fractal image compression method with the purpose of improving compression quality	24
Василів С.С., Тернова К.В. Чисельне моделювання процесу впливу продуктів детонації на надзвуковий потік повітря	34	Vasiliv S.S., Ternova K.V. Numerical simulation of the influence of detonation products on a supersonic airflow process	34
Островська К.Ю., Стовпченко І.В., Островський Є.В. Розробка підходу до виявлення шкідливого пз для android з використанням методів глибинного навчання	41	Ostrovska K., Stovpchenko I., Ostrovsky Y. Development of an approach to the detection of Android software using deep learning methods	41
Соловей І.В., Ворочек О.Г. Розробка програмної системи для ведення цифрової картки домашньої тварини	47	Solovei I.V., Vorochek O.H. Development of a software system for managing a digital pet id	47

Лабуткіна Т.В. Спрощена імітаційна модель навантаження в замкненій мережі комутації пакетів	58	Labutkina T.V. Simplified simulation model of load in a closed packet switching network	58
Суковенко К.Г. Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу	79	Sukovenko K.G. Information technology for decision support in video surveillance and monitoring tasks	79
Гончаров О.Г., Гнатушенко Вік.В., Шевцова О.С. Нейромережевий підхід сегмента- ції сільськогосподарських угідь на супутникових зображеннях	87	Honcharov O., Hnatushenko Vik., Shevtsova O. Neural network approach for segmentation of agricultural lands on satellite images	87
Міщенко М.С., Гнатушенко Вік. В., Сінгер А.В. Класифікація екооб'єктів на супутникових зображеннях за допомогою PyTorch	102	Mishchenko M., Hnatushenko Vik., Sinher Anastasiia-Dzhei Implementation of satelite image classification using PyTorch	102
Невкритий І.О., Антоненко С.В. Аналіз алгоритмів виявлення зіткнень у тривимірних віртуальних середовищах	110	Nekvrytyi I., Antonenko S. Analysis of collision detection algorithms in three-dimensional virtual environments	110
Лук'янець М.О., Сулема Є.С. Метод угруповання темпоральних мультимодальних поточкових даних пристроїв IoT на основі реактивного програмування	123	Lukianets M.O., Sulema Y.S. Method of aggregating temporal multimodal streaming data from iot devices based on reactive programming	123

Андрюханов І.В., Коротєєва Т.О. Модель сервісу гетерогенної розподіленої бази даних для масштабування програмних систем	133	Andriukhanov I., Korotyeyeva T. The service model of a heterogeneous distributed database for software system scaling	133
Рудакова А.А., Лебеденко Ю.О., Рудакова Г.В., Нілова Д.А. Проектування системи керування з прогнозуючою моделлю для двоприводного маніпулятора паралельної структури	144	Rudakova A., Lebedenko Y., Rudakova H., Nilova D. Design of a control system with a predictive model for a two-drive manipulator with a parallel structure	144
Остапєць Д.О., Дзюба В.В., Русецький В.В. Засоби для вивчення ідентифікації та автентифікації за обличчям	157	Ostapets D., Dziuba V., Rusetskyi V. Tools for studying of facial identification and authentication	157
Царик В.Ю., Бичкова Д.М., Кліщ С.М., Каліберда Ю.О. Конкурентний аналіз існуючих програмних застосунків для покращення ментального здоров'я	166	Tsaryk V.Yu., Bychkova D.M., Klishch S.M., Kaliberda Yu.O. A competitive analysis of existing mental health software applications	166

РЕФЕРАТИ

УДК 004.8

Жуков О.О., Горбенко В.І. **Адаптивний підхід до визначення стану вулика за допомогою нейронних мереж та аналізу аудіо** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.3 – 12.

Розглядається ефективність використання глибоких згорткових нейронних мереж та різних підходів до обробки аудіосигналів для ідентифікації присутності матки в вуликах. В якості джерела даних для моделей нейронних мереж було використано публічний набір аудіоданих. Розглянуто та проаналізовано ефективність роботи навчених моделей на тестових аудіозаписах.

Бібл. 14, рис. 3.

УДК 669.84.244.66

Величко О.Г., Камкін В.Ю., Рудько К.В., Камкіна Л.В. **Аналіз розвитку реакції окислення вуглецю низьковуглецевої сталі в ковші під вакуумом** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.13 – 23.

За результатами моделювання на математичній моделі зроблена оцінка наближення реакцій дегазації до рівноваги і з'ясовані фактори, що впливають на неї. Розрахунки теплообміну показали, що прогрів бульбашки аргону відбувається при граничних умовах першого роду, і час його нагрівання до температури металу становить 0,2–0,4 секунди, інші процеси не лімітуються. Згідно з розрахунками, масообмін газів в бульбашці з металом протікає при значеннях числа Біо дифузійного – Bi_D менше 0,2, що свідчить лише про зовнішнє лімітування, тобто стадією, що визначає швидкість процесу, є дифузія через прикордонний шар. Це відповідає відомим літературними даними, згідно з якими лімітуючою ланкою процесів дегазації є перехід реагентів через прикордонний шар на міжфазному кордоні між металом і газовою фазою. При побудові динамічної моделі за її основу була прийнята відома модель вакуумного зневуглецювання та доповнена процесом одночасного продування металу аргonom. До основних положень цієї моделі можна віднести такі: процеси масообміну металу з бульбашкою аргону при його спливанні, що відбуваються з газом, нагрітим до температури металу, і лімітуються тільки зовнішньою дифузією; в зв'язку з інтенсивним перемішуванням склад металу за його обсягом вважається постійним; видалення розчинених газів відбувається за такими статтями витрат: в бульбашки CO, в бульбашки аргону і через верхню металу вільну від шлаку. Як показали результати моделювання, реакція видалення водню близька до рівноваги, а кисню – далеко від рівноваги. Для видалення водню в бульбашки аргону необхідно збільшувати витрату аргону, а кисню – площу поверхні бульбашок аргону.

Бібл. 9.

УДК 004.6

Журба А.О. **Дослідження методу фрактального стиснення зображень з метою покращення якості стиснення** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.24 – 33.

В ході дослідження була детально проаналізована базова версія створеного програмного коду для внесення необхідних до завдання змін, щоб зберігати базове призначення програмного продукту. Крім того, були проаналізовані результати налагодження, які свідчать про підвищення та зниження продуктивності коду. Порівнюючи вихідні дані, також можна зробити висновки, що внесені зміни добре демонструють гнучкість і розширюють програмні можливості продукту.

Бібл. 6, іл. 2, табл. 1.

УДК 629.7.036.54.

Василів С.С., Тернова К.В. **Чисельне моделювання процесу впливу продуктів детонації на надзвуковий потік повітря** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.34 – 40.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення швидкодії і величини керуючого імпульсу ракетних двигунів, для здійснення маневрів в атмосфері. Мета роботи оцінка параметрів взаємодії продуктів детонації з надзвуковим потоком повітря. Для досягнення мети застосовується чисельне моделювання. Результати моделювання будуть використовуватися для проведення експериментальних досліджень.

Бібл. 8, іл.3.

УДК 004.4

Островська К.Ю., Стовпченко І.В., Островський Є.В. **Розробка підходу до виявлення шкідливого пз для android з використанням методів глибинного навчання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.41 – 46.

Метою роботи є розробка підходу для виявлення шкідливого програмного забезпечення для операційної системи Android на основі статистичного аналізу з використанням методів глибокого навчання. Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні задачі: 1. Дослідження особливостей Android додатків і розробка способу подання додатка для подальшого аналізу безпеки. 2. Дослідження методів глибокого навчання і вибір найбільш відповідного з них. 3. Розробка підходу до виявлення шкідливого програмного забезпечення для Android з використанням методів глибокого навчання. Основна ідея підходу виявлення Android додатки у вигляді зображення для подальшого аналізу згортовою нейронною мережею, причому в цьому зображенні пікселі представляють послідовність пар API виклику і відпорному йому рівня захисту, який виводиться з дозволу, яке необхідно для виклику API.

Бібл. 3.

УДК 004.45

Соловей І.В., Ворочек О.Г. **Розробка програмної системи для ведення цифрової картки домашньої тварини** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.47 – 57.

Обрано технології та розроблено програмну систему, що підтримує ведення цифрової картки домашньої тварини. Система складається з серверної та веб частини. Вона інтегрує медичні записи, історії вакцинацій та моніторинг активності, що спрощує управління здоров'ям тварин. Система включає функції цифрового паспорту, що підтверджується QR кодом, журнал активностей та медичні записи, доступні для власників тварин і ветеринарів.

Літ.12. іл.2.

УДК 004:02; 681.3; 519.217; 629:7

Лабуткіна Т.В. **Спрощена імітаційна модель навантаження в замкненій мережі комутації пакетів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.58 – 78.

Розвинуто підхід до спрощеного імітаційного моделювання навантаження мережі комутації пакетів. В основі імітаційного представлення мережних процесів спрощена математична модель мережі комутації пакетів, яка заснована на дискретизованому опису станів завантаження вузлів мережі і відповідає представленню поточного стану мережі в задачах управління її навантаженням.

Літ.20. іл.3.

УДК: 004.9:519.711

Суковенко К.Г. **Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень в задачах відеоспостереження та моніторингу** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.79 – 86.

Розглядаються використання відеоданих у системах відеоспостереження та моніторингу з точки зору технологій комп'ютерного зору та систем підтримки прийняття рішень. Обговорюється, як інформаційні технології допомагають збирати, аналізувати та використовувати відеодані для автоматизації та оптимізації процесів відеоспостереження. Звертається увага на етичні питання, пов'язані з приватністю та конфіденційністю осіб, зображених на відео, і наголошує на необхідності уважної уваги до цих питань для захисту прав громадян.

Бібл. 8.

УДК 004.932

Гончаров О.Г., Гнатушенко Вік.В., Шевцова О.С. **Нейромережевий підхід сегментації сільськогосподарських угідь на супутникових зображеннях** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.87 – 101.

Досліджується застосування глибоких нейронних мереж, зокрема архітектури U Net, для семантичної сегментації сільськогосподарських угідь на супутникових зображеннях. Аналіз останніх досліджень вказує на потенціал модифікацій U Net у точному визначенні сільськогосподарських територій з різною структурою даних. В статті порівнюються моделі з

різними архітектурними вдосконаленнями, що демонструють підвищену точність та ефективність в задачах сегментації.

Бібл. 8, іл. 8.

УДК 004.932

Міщенко М.С., Гнатушенко Вік. В., Сінгер А.В. **Класифікація екооб'єктів на супутникових зображеннях за допомогою PyTorch** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.102 – 109.

У статті наведена практична реалізація алгоритму класифікації екооб'єктів на супутникових зображеннях з використанням бібліотеки глибокого навчання PyTorch. Метою дослідження є підвищення якості класифікації об'єктів на цифрових зображеннях завдяки розробці та використанню моделі нейронної мережі.

Запропонований підхід дозволяє класифікувати воду, піски, хмари та зелену місцевість на супутникових знімках, полегшуючи аналіз великих обсягів даних та отримано середню точність 95%. Його було протестовано на супутникових знімках Sentinel 2, отриманих з березня по серпень 2023 року для деяких частин Херсонської та Миколаївської областей, Україна. Для навчання моделі використовується попередньо натренована архітектура ResNet.

Бібл. 7.

УДК 004.421.2

Невкритий І.О., Антоненко С.В. **Аналіз алгоритмів виявлення зіткнень у тривимірних віртуальних середовищах** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.110 – 122.

У цьому дослідженні пропонується новий алгоритм виявлення зіткнень для ефективного вузькофазного виявлення в додатках віртуальної реальності. Поєднуючи R дерева та орієнтовані розмірні рамки, вирівняні по осях (OAABB), алгоритм ефективно фільтрує примітиви. Це зменшує кількість відвідувань вузлів, підвищує продуктивність і пом'якшує численні проблеми з відвідуванням. Такий підхід значно зменшує обсяги операцій оновлення, підвищуючи загальну ефективність. Цей новий метод забезпечує точне виявлення зіткнень, сприяючи покращеному моделюванню віртуального середовища.

Бібл. 8, іл. 5, табл. 3.

УДК 004.67

Лук'янець М.О., Сулема Є.С. **Метод угруповання темпоральних мультимодальних потокових даних пристроїв IoT на основі реактивного програмування** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.123 – 132.

У цій статті досліджуються задача угруповання темпоральних потокових даних пристроїв IoT. Автори аналізують недавні дослідження та публікації, щоб дослідити існуючі способи рішення задачі угруповання, та обговорюють потенційні рішення цих проблем. У статті пропонується метод угруповання з використанням оператора GroupJoin. Показана можливість реалізації запропонованого методу на .NET.

Бібл. 9, іл. 4.

УДК 004.4

Андрюханов І.В., Коротєєва Т.О. **Модель сервісу гетерогенної розподіленої бази даних для масштабування програмних систем** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.133 – 143.

У статті розглянуто актуальність горизонтального масштабування програмних систем, які потребують використання СУБД для опрацювання великих об'ємів структурованих, JSON, геопросторових даних, при цьому, маючи вимоги забезпечення ACID властивостей та цілісності даних. Проведено аналіз існуючих продуктів, наведено їх основні переваги та недоліки, сформульовано проблему єдиної точки відмови, технічних обмежень, відсутності підтримки необхідного функціоналу. У якості її вирішення розроблено модель сервісу гетерогенної розподіленої бази даних, складено опис її характеристик та архітектури. З застосуванням технології Kubernetes проведено дослідження метрик продуктивності кластера БД на базі розробленої моделі, показники яких у підсумку мають кращі значення у порівнянні з розглянутими рішеннями.

Бібл. 8.

УДК 62 231:681.5

Рудакова А.А., Лебеденко Ю.О., Рудакова Г.В., Нілова Д.А. **Проектування системи керування з прогнозуючою моделлю для двоприводного маніпулятора паралельної структури** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.144 – 156.

Ця стаття має на меті вивчити застосування моделі прогнозованого керування до паралельного маніпулятора, зосереджуючись на його конструкції, динаміці та стратегіях керування. Інтеграція MPC у паралельне керування маніпулятором дає потенціал для вирішення проблем, пов'язаних із відстеженням траєкторії, уникненням перешкод та ефективним використанням енергії. Математична модель забезпечує точну основу для розуміння та керування рухом паралельних маніпуляторів, закладаючи основу для подальшого аналізу та оптимізації. Завдяки всебічному дослідженню фундаментальних принципів, що лежать в основі паралельних маніпуляторів, і внутрішньої потужності MPC можна реалізувати потенційні переваги поєднання цих технологій.

Бібл. 4, іл. 5.

УДК 004.056.523

Остапєць Д.О., Дзюба В.В., Русецький В.В. **Засоби для вивчення ідентифікації та автентифікації за обличчям** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.157 – 165.

Розглядаються принципи розробки та організація програмних засобів для вивчення механізму біометричної автентифікації за обличчям по ключовим точкам. Представлено організацію комплексу засобів. Наведено основні приклади та етапи роботи програмного комплексу, що розроблений на мові C++ з використанням додаткових бібліотек. Розроблені засоби можуть бути використані в навчальному процесі.

Бібл. 6, іл. 6.

Царик В.Ю., Бичкова Д.М., Кліщ С.М., Каліберда Ю.О. **Конкурентний аналіз існуючих програмних застосунків для покращення ментального здоров'я** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 4(153). – Дніпро, 2024. – С.166 – 179.

Анотація. Робота полягає у проведенні конкурентного аналізу існуючих програмних застосунків, спрямованих на покращення ментального здоров'я людей. Визначено функціональні вимоги до мобільного застосунку для покращення ментального здоров'я та проведено конкурентний аналіз існуючих застосунків. Було проаналізовано 10 застосунків, які надають користувачам різноманітні інструменти для самовдосконалення та розвитку позитивних стратегій копіngu зі стресом та негативними емоціями. Серед обраних застосунків немає жодного, який би повністю задовольняв вимогам, які ми висуваємо до нашого застосунку. Серед відчисняних рішень наявні лише медитативні практики. Тож розробка такого застосунку буде актуальною та корисною для українського суспільства.

Бібл. 12.

UDK 004.8

Zhukov O.O., Horbenko V.I. **Using deep cnn architectures and tensorflow for bee identification on images** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.3 – 12.

The queen plays a vital role in reproduction and maintaining the colony's population. Finding the best way to preprocess audio data and review it is an important task, that, if performed well, will help to track the bee hive population and its health state in general. According to the evaluation results, MFCCs based models gave constant good results, and when used on a limited audio dataset, pre trained model showed better performance than the one trained from zero.

Bibl. 14, Fig. 3.

UDK 669.84.244.66

Velichko O.H., Kamkin V.Yu., Rudko K.V., Kamkina L.V. **Analysis of the development of the carbon oxidation reaction of low carbon steel in a bucket under vacuum** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.13 – 23.

Based on the results of modeling on the mathematical model, an assessment of the approach of degassing reactions to equilibrium was made and the factors affecting it were clarified. Heat transfer calculations showed that the heating of the argon bubble takes place under the limiting conditions of the first kind, and the time of its heating to the temperature of the metal is 0.2–0.4 seconds, other processes are not limited. According to the calculations, mass exchange of gases in a bubble with metal takes place at values of the Biot number Bi_D less than 0.2, which indicates only external limitation, i.e. the stage that determines the speed of the process is diffusion through the boundary layer. This corresponds to known literature data, according to which the limiting link of degassing processes is the transition of reagents through the boundary layer at the interphase boundary between the metal and the gas phase. When building a dynamic model, the well known model of vacuum decarburization was taken as its basis and supplemented with the process of simultaneous blowing of metal with argon. The main provisions of this model include the following: processes of mass exchange of metal with an argon bubble during its ascent, which occur with gas heated to the temperature of the metal, and are limited only by external diffusion; due to intensive mixing, the composition of the metal by volume is considered constant; removal of dissolved gases takes place according to the following cost items: in CO bubbles, in argon bubbles and through the metal surface free from slag. As the simulation results showed, the hydrogen removal reaction is close to equilibrium, and the oxygen removal reaction is far from equilibrium. To remove hydrogen in argon bubbles, it is necessary to increase the flow of argon, and oxygen – the surface area of the argon bubbles.

Bibl. 9.

UDC 004.6

Zhurba A.O. **Study of fractal image compression method with the purpose of improving compression quality** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.24 – 33.

In the course of the study, the basic version of the created software code was analyzed in detail in order to make the necessary changes to the task in order to preserve the basic

ISSN 1562-9945 (Print) 189
ISSN 2707-7977 (Online)

purpose of the software product. In addition, the debugging results were analyzed to show the increase and decrease in the performance of the code. By comparing the raw data, it is also possible to conclude that the changes made demonstrate flexibility and extend the software capabilities of the product.

Bible 6, fig. 2, table 1.

UDK 629.7.036.54.

Vasiliv S.S., Ternova K.V. **Numerical simulation of the influence of detonation products on a supersonic airflow process** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.34 – 40.

The urgency of the work is due to the need to increase the speed and the magnitude of the control impulse of rocket engines for maneuvers in the atmosphere. The purpose of the work is to evaluate the interaction parameters of detonation products with the supersonic airflow. Numerical modeling is used to achieve the goal. The simulation results will be used to conduct next experimental research

Bibl. 8., ill. 3.

UDK 004.4

Ostrovskaya K., Stovpchenko I., Ostrovsky Y. **Development of an approach to the detection of Android software using deep learning methods** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.41 – 46.

The purpose of the work is to develop an approach to detect malicious software for the Android operating system based on statistical analysis using deep learning methods. To achieve the goal, the following tasks were solved: 1. Study of the features of Android applications and development of a method of submitting the application for further security analysis. 2. Research of deep learning methods and selection of the most appropriate of them. 3. Development of an Android malware detection approach using deep learning techniques. The main idea of the approach is to represent the Android application in the form of an image for further analysis by a convolutional neural network, and in this image the pixels represent a sequence of API call pairs and the level of protection against it, which is derived from the permission required for the API call.

Bibl. 3.

UDC 004.45

Solovei I.V., Vorochek O.H. **Development of a Software System for Managing a Digital Pet ID** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.47 – 57.

Technologies have been selected and a software system has been developed that supports the management of a digital pet ID. The system consists of a server and a web part. It integrates medical records, vaccination histories, and activity monitoring, which simplifies the management of animal health. The system includes digital passport features, which are verified by a QR code, an activity log, and medical records, accessible to pet owners and veterinarians.

Ref. 12. Ill. 2.

UDC 004:02; 681.3; 519.217; 629:7

Labutkina T.V. **Simplified simulation model of load in a closed packet switching network** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.58 – 78.

An approach to simplified simulation modeling of packet switching network load has been developed. The simulated representation of network processes is based on a simplified mathematical model of the packet switching network, which is based on a discretized description of the load states of the network nodes and corresponds to the representation of the current state of the network in the tasks of managing its load.

Ref. 20. Ill. 3.

UDC: 004.9:519.711

Sukovenko K.G. **Information technology for decision support in video surveillance and monitoring tasks** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.79 – 86.

The use of video data in video surveillance and monitoring systems is considered from the perspective of computer vision technologies and decision support systems. It discusses how information technologies assist in collecting, analyzing, and utilizing video data to automate and optimize video surveillance processes. Attention is drawn to ethical issues related to the privacy and confidentiality of individuals depicted in videos, emphasizing the need for careful consideration of these issues to protect the rights of citizens.

Bibl. 8.

UDC 004.932

Honcharov O., Hnatushenko Vik., Shevtsova O. **Neural network approach for segmentation of agricultural lands on satellite images** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.87 – 101.

This study explores the application of deep neural networks, specifically the U Net architecture, for semantic segmentation of agricultural lands in satellite images. An analysis of recent research highlights the potential of U Net modifications in accurately identifying agricultural areas with diverse data structures. The article compares models with various architectural improvements, demonstrating increased accuracy and efficiency in segmentation tasks.

Refs. 8, Figs. 8.

UDC 004.932

Mishchenko M., Hnatushenko Vik., Sinher Anastasiia Dzhei **Implementation of satellite image classification using PyTorch** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.102 – 109.

This article presents a practical implementation of the satellite image classification task using the PyTorch deep learning library. The aim of the work is to develop a neural network model capable of classifying satellite images into four classes: water, sands, clouds, and greenery.

Refs. 7.

UDK 004.421.2

Nekvrytyi I., Antonenko S. **Analysis of Collision Detection Algorithms in Three Dimensional Virtual Environments** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.110 – 122.

This study proposes a new collision detection algorithm for efficient narrow phase detection in virtual reality applications. By combining R trees and oriented axis aligned bounding boxes (OAABB), the algorithm filters primitives efficiently. It reduces node visits, enhancing performance, and mitigates multiple visit issues. The approach significantly decreases volume refresh operations, improving overall efficiency. This novel method ensures precise collision detection, contributing to enhanced virtual environment simulations.

Bibl. 8, fig. 5, tabl. 3.

UDK 004.67

Lukianets M.O., Sulema Y.S. **Method of aggregating temporal multimodal streaming data from iot devices based on reactive programming** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.123 – 132.

This paper investigates the problem of aggregating temporal streaming data from IoT devices. The authors review recent research and publications to explore existing solutions for the aggregation task and discuss potential approaches to these issues. The article proposes an aggregation method using the GroupJoin operator and demonstrates the feasibility of implementing this method on .NET.

Lib. 9, fig. 4.

UDK 004.4

Andriukhanov I., Korotyeyeva T. **The service model of a heterogeneous distributed database for software system scaling** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.133 – 143.

The article explores the topicality of horizontal scaling for software systems that require the use of database management systems (DBMS) to process large volumes of structured, JSON, and geospatial data, while maintaining requirements for ACID properties and data integrity. An analysis of existing products is conducted, outlining their main advantages, disadvantages and identifying issues such as single points of failure, technical limitations, and lack of support for necessary functionality. To solve these issues, a service model of a heterogeneous distributed database is developed, providing a description of its characteristics and architecture. Using Kubernetes technology, performance metrics of the database cluster based on the developed model are investigated, demonstrating superior performance compared to the products discussed.

Refs. 8.

UDC 62 231:681.5

Rudakova A., Lebedenko Y., Rudakova H., Nilova D. **Design of a control system with a predictive model for a two drive manipulator with a parallel structure** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.144 – 156.

This paper aims to explore the application of Model Predictive Control to parallel manipulator, focusing on its design, dynamics, and control strategies. The integration of MPC into parallel manipulator control offers the potential to address challenges related to trajectory tracking, obstacle avoidance, and efficient energy utilization. The mathematical model provides a rigorous framework for understanding and controlling the motion of parallel manipulators, laying the groundwork for further analysis and optimization. Through comprehensive exploration of the fundamental principles underlying parallel manipulators and the inherent power of MPC, the potential benefits of combining these technologies can be realized.

Bible 4, ill. 5.

UDC 004.056.523

Ostapets D., Dziuba V., Rusetskyi V. **Tools for studying of facial identification and authentication** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.157 – 165.

The principles of development and organization of software tools for studying the mechanism of facial biometric authentication at key points are considered. The organization of the complex of means is presented. The main examples and stages of the software complex, developed in the C++ language with the use of additional libraries, are given. The developed tools can be used in the educational process.

Bibl. 6, il. 6.

UDC 004.91

Tsaryk V.Yu., Bychkova D.M., Klishch S.M., Kaliberda Yu.O. **A competitive analysis of existing mental health software applications** // System technologies. N 4(153) Dnipro, 2024. P.166 – 179.

Abstract. The work consists in conducting a competitive analysis of existing software applications aimed at improving the mental health of people. The functional requirements for a mobile application to improve mental health were determined and a competitive analysis of existing applications was carried out. 10 applications were analyzed that provide users with various tools for self improvement and development of positive coping strategies with stress and negative emotions. Among the selected applications, there is none that fully meets the requirements that we set for our application. Only meditative practices are available among the clear solutions. Therefore, the development of such an application will be relevant and useful for Ukrainian society.

Bible 12.

Системні технології

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 4 (153)

Головний редактор: к.т.н., доц. Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

Здано до набору 29.04.2024. Підписано до друку 31.05.2024.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 13,785. Обл.–видавн. арк. – 12,063.

Тираж 300 прим. Замовл. – 04/24

Український державний університет науки і технологій,
ІНІ «Інститут промислових та бізнес технологій»,
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»
49600, Дніпро, а/с 493

<http://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік

Редакційна колегія

Селівьорстова Тетяна Віталіївна
(головний редактор)

доцент, кандидат технічних наук

Алпатов Анатолій Петрович

Член-кореспондент НАН України,
професор, доктор технічних наук

Архипов Олександр Євгенійович

професор, доктор технічних наук

Бабічев Сергій Анатолійович

доцент, доктор технічних наук

Білозьоров Василь Євгенович

професор,

доктор фізико-математичних наук

Гече Федір Елемирович

професор, доктор технічних наук

Гуда Антон Ігорович

(заст. головного редактора)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Вікторія Володимирівна

(вчений секретар)

професор, доктор технічних наук

Гнатушенко Володимир Володимирович

професор, доктор технічних наук

Гожий Олександр Петрович

професор, доктор технічних наук

Єрьомін Олександр Олегович

професор, доктор технічних наук

Кіріченко Людмила Олегівна

професор, доктор технічних наук

Світличний Дмитро Святозарович

професор, доктор технічних наук

Скалозуб Владислав Васильович

професор, доктор технічних наук

Хандецький Володимир Сергійович

професор, доктор технічних наук

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,
Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет
імені П.Могили, Україна

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Інститут промислових та бізнес технологій», Україна

Харківський національний університет
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія
ім. С. Сташіца, Польща

Український державний університет науки і технологій, ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту» Україна

Дніпровський національний університет
імені Олеся Гончара, Україна