

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаника
Вінницький національний технічний університет
Центр математичного моделювання ІППММ
ім. Я.С.Підстригача НАН України
AGH науково-технологічний університет
ім. Ст.Сташіца, Польща
Представництво "Польська академія наук" в Києві
Лудзький університет, Польща
Інститут кібернетики НАН України
Національний авіаційний університет
Фінансово-економічний інститут Таджикистану
Економічна академія "Д.А.Ценов", Болгарія
Харківський національний університет радіоелектроніки
НДІ інтелектуальних комп'ютерних систем ТНЕУ та ІК НАН України
Новий університет Лісабона, Португалія
Азербайджанська державна нафтова академія
Об'єднаний інститут проблем інформатики НАН Білорусі
Інститут інженерів з електротехніки
та електроніки (ІЕЕЕ), Українська секція
Асоціація "Інформаційні технології України"
Громадська організація "Івано-Франківський ІТ кластер"

"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"

**матеріали
міжнародної науково-практичної конференції**

**6-8 липня 2023 року
Івано-Франківськ**

"INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER MODELLING"
proceedings
of the International Scientific Conference
2023, July, 6th to 8th
Ivano-Frankivsk

Івано-Франківськ - 2023

УДК (004:004.2/004.9+007):33/37+51+621
ББК 22.17 32.81
I-74 Т

Науковий редактор: докт. техн. наук, проф. **Л.Б. Петришин** (ПНУ, АГН)

Матеріали статей опубліковані в авторській редакції

"Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання"; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 6-8 липня 2023 року. ISBN 978-617-8128-23-4 – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2023. – 258 с.

Збірка містить матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції з проблем інформаційних технологій в технічних системах, в соціумі, освіті, медицині, економіці та екології; теорії інформації, кодування та перетворення форми інформації; технологій цифрової обробки інформації; захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах; математичного та імітаційного моделювання систем.

УДК (004:004.2/004.9+007):33/37+51+621
ББК 22.17 32.81
I-74 Т

ISBN 978-617-8128-23-4

© ПНУ ім. В. Стефаника та автори, 2023

Основні напрямки роботи

Секція 1 Інформаційні технології в технічних, системах спеціального призначення, соціумі, освіті, медицині, економіці, управлінні, екології та юриспруденції

Секція 2 Теорія інформації, кодування, перетворення форми, цифрової обробки та ущільнення інформації

Секція 3 Системний аналіз

Секція 4 Глибинний аналіз та організація даних, Big Data, системи штучного інтелекту, Smart додатки

Секція 5 Кібербезпека

Секція 6 Архітектоніка та компоненти комп'ютерних систем та мереж

Секція 7 Математичне та комп'ютерне моделювання складних систем

Секція 8 Прикладні методи дослідження дискретно-неперервних математичних моделей

Section Structure

Section 1. Information technologies in technical and special purpose systems, information technologies in society, education, medicine, economics, management, ecology and law

Section 2. Information theory, coding and information form transformation

Section 3. System analysis

Section 4. Deep analysis and data organization, big data technologies, artificial intelligence systems, smart applications

Section 5. Information protection in information and telecommunication system

Section 6. Components, computer systems and networks architectonics

Section 7. Mathematical and computer modelling of complex systems

Section 8. Applied methods for continuous and discrete mathematical models research

Вибір Проєктних Рішень в Умовах Неповної Визначеності Переваг між Показниками

Володимир Безкоровайний
кафедра системотехніки
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Оксана Драз
кафедра системотехніки
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
oksana.draz@nure.ua

Selection of Project Solutions in Conditions of Incomplete Determination of Advantages between Indicators

Volodymyr Beskorovainyi
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
vladimir.beskorovainyi@nure.ua

Oksana Draz
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
oksana.draz@nure.ua

Анотація—Запропоновано удосконалення методу послідовного застосування критеріїв, що дозволяє суттєво спростити процедуру визначення розміру поступок за локальними критеріями і дозволяє отримувати кількісні скалярні оцінки багатокритеріальних рішень.

Abstract—An improvement of the method of sequential application of criteria is proposed, which significantly simplifies the procedure for determining the size of concessions according to local criteria and allows obtaining quantitative scalar estimates of multi-criteria decisions.

Ключові слова—автоматизація проєктування; багатокритеріальне оцінювання; лексикографічна оптимізація; функція корисності часткових критеріїв.

Keywords—design automation; multi-criteria evaluation; lexicographic optimization; utility function of partial criteria.

I. ВСТУП

Процеси автоматизованого проєктування складних об'єктів, що використовуються в різних сферах людської діяльності, передбачають розв'язання задач оптимізації за множинами різнорідних показників. Більшість задач синтезу є комбінаторними по своїй природі, а процеси їх розв'язання передбачають багатокритеріальне оцінювання варіантів рішень в автоматичному режимі на основі оцінок за результатами моделювання. Остаточний вибір найкращого рішення з множини ефективних здійснюється особою, яка приймає рішення (ОПР), в умовах неповної

визначеності переваг. Це обумовлює актуальність задач розробки математичних моделей і методів для автоматизації процесів підтримки прийняття багатокритеріальних проєктних рішень в умовах неповної визначеності даних.

II. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ

У результаті декомпозиції проблеми прийняття проєктних рішень у найбільш загальному випадку виділяється множина задач: визначення мети створення об'єкта; формування універсальної множини проєктних рішень; виділення множини допустимих і підмножини ефективних рішень; оцінювання й упорядкування рішень; вибір найкращого рішення [1]. Визначення мети здійснюється зазвичай на етапах передпроєктних досліджень неформальними методами. Формування універсальної множини, виділення підмножин допустимих й ефективних проєктних рішень здійснюється з урахуванням обмежень в автоматичному режимі. У теоретичному плані найбільш складними вважаються задачі ранжування проєктних рішень на множині ефективних і вибір за множиною суперечливих локальних критеріїв найкращого серед них [2].

Огляд сучасного стану технологій прийняття рішень показує, що до теперішнього часу існує протиріччя між необхідністю підвищення їх ефективності та обмеженими можливостями існуючих математичних моделей і методів розв'язання задач в умовах невизначеності [3].

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонована технологія підтримки прийняття проектних рішень ґрунтується на комбінованому методі ранжування варіантів з множини допустимих чи ефективних $S = \{s\}$ з використанням ординалістичного та кардиналістичного підходів [1]. У рамках кардиналістичного підходу переваги між показниками задаються співвідношеннями значень вагових коефіцієнтів λ_j локальних критеріїв $k_j(s)$ або функцій їх корисності $\xi_j(s)$, $j = \overline{1, m}$ (де m - кількість локальних критеріїв). Однією з найбільш поширених є ситуація, коли чисельні значення коефіцієнтів λ_j невідомі, а локальні критерії можуть бути впорядковані за ступенем їх важливості $k_1 > k_2 > \dots > k_m$.

У цьому випадку використовується метод послідовного застосування критеріїв (лексикографічної оптимізації) [2]. Розв'язок s вважається лексикографічно кращим за розв'язок v , якщо для функцій корисності виконується одна з умов: $\xi_1(x) > \xi_1(y)$; $\xi_1(s) = \xi_1(v)$, $\xi_2(s) > \xi_2(v)$; ... $\xi_j(s) = \xi_j(v)$, $j = \overline{1, m-1}$, $\xi_m(s) > \xi_m(v)$.

При реалізації цього методу на множині допустимих S необхідно знайти підмножину рішень $S_1^o \subseteq S$, оптимальних за критерієм $k_1(s)$, потім на ній підмножину рішень $S_2^o \subseteq S_1^o$, оптимальних за критерієм $k_2(s)$ і так далі. На останньому етапі із підмножини рішень $S_{m-1}^o \subseteq S_{m-2}^o$ за критерієм $k_m(s)$ обирається єдине рішення $s^o \in S_{m-1}^o$. Якщо в процесі оптимізації за критеріями $k_j(s)$, $j = \overline{1, m-1}$ буде отримано лише один варіант, відповідну підмножину S_j^o , $j = \overline{1, m-1}$ необхідно розширити шляхом включення до неї квазіоптимальних рішень. При цьому проблемою є вибір раціонального розміру поступки $\Delta \xi_j(s)$ для визначення складу підмножин S_j^o , $j = \overline{1, m-1}$. Занадто малий розмір поступки не дозволяє враховувати значення всіх локальних критеріїв, а занадто великий не дозволяє врахувати задане упорядкування критеріїв. Традиційно розмір поступки визначається підбором шляхом багатократного розв'язання вихідної задачі.

Визначення оптимального розміру поступки $\Delta \xi_j^o(s)$, $j = \overline{1, m-1}$ пропонується здійснювати, виходячи з необхідної кількості варіантів $n = |S_{m-1}^o|$ для вибору на останньому етапі ОПР найкращого рішення. Позначимо через $N = |S|$ потужність множини допустимих проектних рішень. За відсутності додаткової інформації щодо переваг на множині локальних критеріїв можна вважати рівність значень всіх поступок $\Delta \xi_j^o(s) = \varepsilon = \text{const} \quad \forall j = \overline{1, m}$. Тоді оптимальний розмір поступки може бути отриманий у

виділі розв'язку рівняння, що описує скорочення підмножин $S_m^o \subseteq \dots \subseteq S_2^o \subseteq S_1^o \subseteq S$:

$$N\varepsilon^{m-1} = n, \quad \varepsilon = \sqrt[m-1]{n/N}. \quad (1)$$

Для автоматичного вибору на останньому етапі єдиного рішення пропонується звести вихідну задачу до задачі максимізації адитивної функції загальної корисності:

$$s^o = \arg \max_{s \in S} \left\{ P(s) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \xi_j(s) \right\}. \quad (2)$$

При цьому вагові коефіцієнти доцільно обирати такими, що з виконанням вимоги нормування $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$ забезпечуватимуть рівну перевагу $\Delta \lambda$ між сусідніми локальними критеріями:

$$1/\Delta \lambda = \left(\frac{m+1}{2} \right) m, \quad \lambda_j = (m-j+1)\Delta \lambda, \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Для оцінки корисності окремих значень локальних критеріїв $\xi_j(s)$, $j = \overline{1, m}$ пропонується використовувати універсальну функцію, яка дозволяє реалізувати лінійні, опуклі, увігнуті, S- і Z-подібні залежності та має високу точність апроксимації оцінок ОПР [4].

Використання методу на основі моделі (2)-(3) дозволяє на основі кількісної оцінки рішень $P(s)$, $s \in S$ здійснити їх ранжування й остаточний вибір найкращого варіанта $s^o \in S^o$.

IV. ВИСНОВКИ

Для узгодження взаємодії ОПР з автоматичними процедурами автоматизованих систем проектування запропоновано удосконалення методу послідовного застосування критеріїв. Удосконалення методу суттєво спрощують визначення розміру поступок за локальними критеріями і дозволяють отримувати кількісні скалярні оцінки багатокритеріальних рішень.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] V. Beskorovainyi, "Combined method of ranking options in project decision support systems", *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, no 4 (14), pp. 13-20, Dec. 2020, doi: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2020.14.013>.
- [2] В. В. Крючковський, Е. Г. Петров, Н. А. Соколова та В. С. Ходаков, *Введення до нормативної теорії прийняття рішень*. Херсон: Гринь Д.С., 2013.
- [3] S. Greco, M. Ehrgott and J. R. Figueira, *Multiple Criteria Decision Analysis – State of the Art Surveys*. New York: Springer, 2016.
- [4] V. Beskorovainyi and H. Berezovskyi, "Identification of preferences in decision support systems", *ECONTECHMOD*, vol. 06, no 4, pp. 15-20, Nov. 2017..

Концепція інформаційної технології раннього розпізнавання відмов на основі нейронних мереж

Сергій Бегун

Факультет інформаційних технологій
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
sergiy.begun@knu.com

The concept of information technology of early failure detection based on neural networks

Sergiy Begun

Faculty of Information Technology
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
sergiy.begun@knu.com

Анотація—З метою вирішення проблеми ранньої діагностики відмов обладнання складних технічних систем з постійним моніторингом експлуатаційних параметрів в умовах недостатньої або відсутності статистики відмов пропонується концепція нової інформаційної технології. У технології пропонується використовувати три шари нейронних мереж для розпізнавання відмов обладнання та відсіву false-positive подій. Нейронна мережа першого шару призначена для формування сигналу про відхилення окремого чи декількох параметрів від побудованої у результаті навчання так званої моделі нормальної поведінки. Вперше пропонується використовувати нейронні мережі побудовані на основі типових ймовірнісних структурно-логічних моделей у другому із трьох шарів пов'язаних нейронних мереж для формування гіпотез про тип та ймовірність відмов обладнання. Нейронна мережа третього шару призначена для перевірки сигналів про гіпотези щодо відмов обладнання, які сформовані на другому рівні. Нейронна мережа третього шару використовує сигнали нейронних мереж першого та другого шару. Використання типових ймовірнісних структурно-логічних моделей окрім вирішення проблеми неможливості навчання нейронної мережі розпізнавати відмови обладнання на ранніх стадіях в умовах недостатньої або відсутності статистики дозволяє застосувати технологію для широкого класу типових об'єктів галузі промисловості.

Ключові слова—інформаційні технології, нейронні мережі, розпізнавання відмов, ризик-орієнтований підхід, типові ймовірнісні структурно-логічні моделі

Abstract—The article proposes the concept of new information technology for complex technical systems with continuous monitoring of operational parameters to solve the problem of early fault detection of the equipment in the conditions of low or absence of failure statistics. The proposed technology implies using three layers of neural networks to detect equipment failure and to reject false-positive events. The purpose of the neural network of the first layer is to generate the signal of deviation of one or several parameters from a so-called

model of normal behavior, which was created as a result of training. As a new approach, the article proposes to use typical probabilistic structural-logical model-based neural networks in the second of three layers of connected neural networks to formulate hypotheses about the type and the probability of failures. The purpose of the neural network of the third layer is to test the hypotheses about the failure of the equipment, which were formulated in the second level. The neural network of the third layer uses the signals from the neural networks of the first and second layers. Using the typical probabilistic structural-logical models, besides solving the problem of the impossibility of neural network training to detect equipment failures at the early stages in the conditions of low or absence of statistics, allows using the technology for a wide range of typical objects of the industry.

Keywords—information technology, neural networks, failure detection, risk-based approach, typical probabilistic structural-logical models

I. ВСТУП

Управління життєвим циклом складних технічних систем пов'язано з об'єктивною та суб'єктивною невизначеністю, що включає у себе обмежену точність систем моніторингу експлуатаційних параметрів, обмежену точність систем моніторингу зовнішніх впливів, невизначеність прогнозування станів складної технічної системи, вплив суб'єктивного фактору.

У процесі моніторингу складних технічних систем, якими є промислові об'єкти, накопичуються великі бази даних щодо параметрів експлуатації цих об'єктів (Big Data) і власники таких промислових об'єктів зацікавлені у використанні накопичених Big Data для покращення системи прийняття рішень щодо попередження аварійних ситуацій для уникнення руйнування цих промислових об'єктів та мінімізації можливих зовнішніх негативних наслідків, що також передбачає використання накопичених Big Data для зменшення кількості false-

positive рішення щодо зупинки промислових об'єктів, які пов'язані з надмірною консервативністю використовуваних моделей прийняття рішень [1].

II. КОНЦЕПЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Використання нейронних мереж як основи інформаційних технологій управління складними системами в умовах неперервного моніторингу великої кількості параметрів є розповсюдженою практикою [1-3]. Складні технічні системи не є виключенням [1-4]. Вирішення проблеми передбачення та розпізнавання перед аварійних станів складних технічних систем є одною з пріоритетних проблем управління безпекою [1].

Аварійна ситуація на таких об'єктах є рідкою та небажаною подією із суттєвими потенційними економічними наслідками, тому статистичні дані щодо значень та співвідношення параметрів у перед аварійних та аварійних станах таких об'єктів є недостатніми для побудови достовірних прогнозних моделей на основі нейронних мереж. Але доступні великі масиви даних щодо нормальної експлуатації таких об'єктів, що дозволяє будувати достовірні моделі нормальної поведінки експлуатаційних параметрів [4].

Використання структурно-логічних моделей на основі графів у практиці моделювання складних об'єктів за допомогою нейронних мереж не є новою практикою [3]. А використання попередньо зазначених фільтрів може надавати переваги при вирішенні типових задач у порівнянні з традиційними нейронними мережами [5]. При цьому для більшості таких складних технічних об'єктів будуються структурно-логічні моделі у вигляді орієнтованих зв'язаних графів без циклів (дерева подій (ДП), дерева відмов (ДВ)) [6]. У результаті моделювання на основі графів (ДП та ДВ) маємо частоти відмов компонент обладнання складної технічної системи та системи у цілому, множину мінімальних перерізів (комбінацій послідовних подій) та внески окремих мінімальних перерізів у частоту відмови системи у цілому [6]. Також розраховуються параметри важливості кожної події для відмови системи у цілому [6, 7]. А при використанні концепції типових ймовірнісних структурно-логічних моделей маємо можливість адаптації розрахункових моделей до широкого класу типових об'єктів галузі [6]. Також не складно встановити послідовність відмови компонент обладнання у випадку розвитку процесу відмови, прямі та опосередковані зв'язки компонент обладнання з експлуатаційними параметрами, моніторинг яких здійснюється у неперервному режимі. Оцінені ймовірнісні параметри, що отримуємо із моделей на основі ДП та ДВ, містять дуже цінну інформацію щодо діагностування потенційних відмов компонент обладнання та системи у цілому, але нині на практиці жоден із цих параметрів не використовуються у моделюванні тих же складних технічних систем на основі нейронних мереж.

Для вирішення проблеми попереднього діагностування відмов обладнання на ранніх стадіях розвитку процесів пропонуємо концепцію нової інформаційної технології, що базується на трьох нейронних мережах.

Перша нейронна мережа призначена для грубого відслідковування відхилення експлуатаційних параметрів від моделі нормальної поведінки складної технічної системи [4], яка будується шляхом навчання нейронної мережі на основі даних нормальної експлуатації. На

виході першої нейронної мережі у випадку перевищення порогового значення відхилення одним чи декількома експлуатаційними параметрами маємо сигнал (сигнали) щодо відхилення параметру (параметрів). Цей сигнал (сигнали) спрямовується на входи другої та третьої нейронних мереж.

Друга нейронна мережа побудована на основі типової ймовірнісної структурно-логічної моделі адаптованої до даного об'єкту (складної технічної системи). Дана нейронна мережа містить зв'язки подій відповідно структури графу (ДП та ДВ), що визначені на основі групування подій у мінімальні перерізи та встановлених прямих і опосередкованих зв'язків подій графу з експлуатаційними параметрами. А у формулах розрахунку вагових коефіцієнтів нейронів міститься інформація про внесок подій як частин мінімальних перерізів та окремо важливості окремих подій для відмови системи у цілому. Сигнали з другої нейронної мережі призначені для подальшої ідентифікації типу потенційної відмови. Сигнали з другої нейронної мережі складаються із розрахованих вагових коефіцієнтів експлуатаційних параметрів щодо яких було перевищення порогових значень, та вагових коефіцієнтів супутніх експлуатаційних параметрів (відповідно зв'язків), факт перевищення порогових значень яких треба перевірити у припущенні можливих сценаріїв відмов для підтвердження гіпотези розвитку саме цього сценарію відмов. Сигнали з другої нейронної мережі передаються на третю нейронну мережу.

Третя нейронна мережа призначена для підтвердження чи відхилення гіпотез розвитку певних сценаріїв відмов. Рішення щодо підтвердження чи відхилення гіпотез приймається на основі порівняння сигналів від першої та другої нейронної мереж з врахуванням вагових коефіцієнтів.

III. ВИСНОВКИ

Запропонована концепція нової інформаційної технології діагностування відмов обладнання на ранній стадії розвитку процесів відмов.

Подальшим етапом роботи є створення та тестування моделей конкретних складних технічних систем на основі даної технології. Передбачається провести таке моделювання на прикладі вітрових генераторів.

ЛІТЕРАТУРА/REFERENCES

1. ESReDA Project Group Foresight in Safety, Enhancing Safety: The Challenge of Foresight, EUR 30441 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-25189-7, doi:10.2760/814452, JRC122252.
2. M. A. Nielsen, "Neural Networks and Deep Learning", Determination Press, 2015.
3. I. Goodfellow, Y. Bengio and A. Courville, "Deep Learning", MIT Press, 2016.
4. P. G. Lind, L. V. Tudela, M. Wächter, M. Kühn and J. Peinke, "Normal Behaviour Models for Wind Turbine Vibrations: Comparison of Neural Networks and a Stochastic Approach", *Energies*, vol. 10, issue 12, 2017, doi:10.3390/en10121944.
5. Y. Ma, Y. Luo, Zh. Yang, "PCFNet: Deep neural network with predefined convolutional filters", *Neurocomputing*, vol. 382, pp. 32-39, March 2020, doi:10.1016/j.neucom.2019.11.075.
6. В.В. Бегун, "Методологічні основи інформаційної технології управління безпекою на основі ризик-орієнтованого підходу": дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.13.06 / Бегун Василь Васильович. – Київ, 2020. – 553 с.
7. J. Fussell, "How to Hand-Calculate System Reliability and Safety Characteristics," *IEEE Transactions on Reliability*, vol. R-24, no. 3, pp. 169-174, 1975, doi:10.1109/TR.1975.5215142.

Using Architectures – Transformers for Object Detection in Image Processing

Bohdan Blagitko, Dmytro Myronyuk

Dept. of Radiophysics and Computer Technologies
Ivan Franko National University of Lviv
Lviv, Ukraine
blagitko@gmail.com, myronyukdmytro@gmail.com

Igor Zajachuk

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics National Academy of Sciences of Ukraine.
Lviv, Ukraine
igorzajach@gmail.com

Використання Архітектур – Трансформерів для Виявлення Об'єктів при Обробці Зображень

Богдан Благітко, Дмитро Миронюк

кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій
Львівський національний університет імені Івана
Франка
Львів, Україна
blagitko@gmail.com, myronyukdmytro@gmail.com

Ігор Заячук

Інститут прикладних проблем механіки і математики
імені Я. Підстригача НАН України
Львів, Україна
igorzajach@gmail.com

Abstract — Modern methods of object detection in the process of image recognition using transformer technology are analyzed. The various methods' advantages and disadvantages are identified. An own network creates based on the DETR transformer from the FAIR team. Its operations analysis.

Анотація — Проаналізовано сучасні методи виявлення об'єктів в процесі розпізнавання зображень за допомогою технології трансформера. Означено переваги та недоліки різних методів. Створено власну мережу на основі трансформера DETR від FAIR team, проаналізовано його роботу.

Keywords— *mathematical modeling; image recognition; object detection; transformer*

Ключові слова— *математичне моделювання; розпізнавання зображень; виявлення об'єктів; трансформер*

I. INTRODUCTION

One of the main tasks of computer technologies is the search and selection of objects in the image. The based on two-stage method approaches are dominant here: first, the main properties of the image are selected, which is the basis for further work. The second stage is regression, which in turn is responsible for the selected image properties classification and the selection of

the corresponding zone. The advantages of this type of architecture are their accuracy on objects of different sizes, sufficient stability of the system, and good speed. However, it is not sufficient for modern detection systems. This disadvantage is especially evident when used in systems based on mobile and less powerful devices. Such architectures of neural networks do not make it possible to realize object detection with sufficient speed. It affects the overall algorithms speed. Examples of such architectures as Fast-RCNN and Faster-RCNN are given in [1]. One-step systems based on the YOLO detection algorithm [2]. It can be considered an improvement of object detection systems, which have become a fast and fairly accurate solution for working on less powerful platforms in recent years. Unlike two-stage systems, this algorithm uses image zoning in one pass (by dividing it into squares and working with them separately). The object determination per zone is carried out by estimating the distance from the center of each square to the object zone if the anchor is superimposed on the entire image. The selection and assessment of the best areas for finding objects is carried out in this way. The YOLOv4 architecture [2] has gone through 7 generations of improvements and is one of the main ones for object detection on mobile platforms as of 2022.

The next logical step was an attempt to use architectures - transformers, which have proven themselves very well as the main tool of modern word processing. One such approach is partial transformers, which are essentially two-level networks.

If the necessary properties of the images are extracted at the first level, then at the next stage, they are divided into zones and encoded using a network - an encoder. The coded image is passed through the network - a decoder is a reverse operation to determine the object. An example of such a network is DETR (DEtection TRansformer) from Facebook AI research [3,4].

II. TRANSFORMER NETWORK OPERATION PRINCIPLE FOR OBJECT DETECTION

The DETR approach used for research in this paper can be divided into the following blocks:

1. **Highlighting property maps (Backbone).** The initial stage processing is a convolutional neural network common to many schemes, which transforms the input image into property maps with much less information.

2. The encoder is an architecture-transformers basic part. At the initial stage, multiplication with 1x1 convolution takes place to reduce the color dimension of the maps and further convolution to a single-channel scheme. It is required to synchronize the input with the encoder that expects the sequence as input. Each level of the encoder has a standard architecture and consists of a self-monitoring module with several heads and a forward communication network (FFN). The transformer architecture is invariant to permutations. The fixed positional encodings supplement it and add to each layer input.

3. The decoder is an architecture-transformers basic part, in pairing an encoder. The decoder follows the standard transformer architecture, converting N embeddings of size d using multi-headed encoder-decoder access mechanisms. The model decodes N objects in parallel at each level of the decoder.

4. A fully connected network is for class prediction and placement. The final prediction is computing using a 3-layer perceptron with a ReLU activation function, a hidden dimension d, and a linear projection layer. The fully connected network predicts the normalized coordinates of the center, height, and width of each of the N-bounding rectangles of the input image.

5. The linear layer predicts the class label using a softmax function. We assume a fixed-size set of N bounding rectangles, where N is usually much larger than the actual number of objects of interest in the image. An additional label of the special class \emptyset used to indicate that no objects are detected. Such a class denotes "background" in classic convolutional architectures.

III. LEARNING THE TRANSFORMER MODEL, DATA, AND LEARNING PROCESS PARAMETERS

The object detection technique based on deep learning has many applications in everyday life [5]. A proprietary dataset containing 300 images of 4 categories trained for object recognition. It uses to train the neural network model. Table 1 is the data set of general characteristics.

TABLE I. CHARACTERISTICS OF THE TRAINING DATA SET.

#	Characteristic	Value
1	The number of training images	300 + 30 (training and validation dataset)
2	The number of classes	4
3	Augmentation	yes (rotations, affine transformations, scaling)
4	The size	224x224 RGB

Standard pre-trained models use for training on the ImageNet Mathematical and Computer Modeling dataset. The standard models' package provides by the FAIR team along with the raw code of the DETR approach for the PyTorch framework. The validation data set photos use during testing also. The main advantage of that library over others is that models in PyTorch have dynamic computational graphs. So, we change our computational graph without recompilation. The training performs uses of the Anaconda multi-purpose machine learning platform. The Python language is off base. The training and model fine-tuning, notebook on an Intel processor, and Nvidia GTX 1050 GPU used as a base. The controller for the prototype Raspberry Pi 4 is used as the main. It uses an ARM-architecture-based CPU with four cores and includes all peripherals for using it as a "brain" of robotic systems.

IV. LEARNING RESULTS

As a result of the operation of the implemented network — the transformer, 59% of objects on flat images in the form of photographs of 224*224 pixels were detected.

CONCLUSION

The test results of the trained models are satisfactory, although they are far from real-time recognition.

REFERENCES

- [1] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. arXiv: 2016.1506.01497v3 [cs.CV] 6 Jan 2016. P. 1-14. URL: <https://arXiv.org/pdf/1506.01497.pdf>.
- [2] Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, Hong-Yuan Mark Liao. ScaledYOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network. arXiv: 2011.08036v2 [cs.CV] 22 Feb 2021. P. 1-10. URL: <https://arXiv.org/pdf/2011.08036.pdf>.
- [3] Carion N., Massa F., Synnaeve G., Usunier N., Kirillov A., Zagoruyko S. End-to-end Object Detection with Transformers. arXiv: 2005.12872v3 [cs.CV] 28 May 2020. P. 1-26. URL: <https://arXiv.org/pdf/2005.12872.pdf>.
- [4] DETR: End-to-End Object Detection with Transformers. URL: <https://github.com/facebookresearch/detr>.
- [5] Goodfellow I., Bengio Yo., Courville A. Deep Learning. An MIT Press Book. MIT Press. 2016. 716 p.

Озвучування контурів об'єктів для людей з вадами зору

Лариса Вакал
відділ мікропроцесорної техніки
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова
Київ, Україна
lara.vakal@gmail.com

Євген Вакал
кафедра математичної фізики
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
jvakal@gmail.com

Objects' contours sonification for visually impaired people

Larysa Vakal
dept. of Microprocessor Technology
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics
Kyiv, Ukraine
lara.vakal@gmail.com

Yevhen Vakal
dept. of Mathematical Physics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
jvakal@gmail.com

Анотація—Запропоновано метод звукового кодування контурів об'єктів на основі сигнатури “кут-ордината” з використанням 25 музичних звуків у діапазоні середніх частот. Найвищі звуки відповідають точкам, що лежать на контурі найвище. Гучність звуку корелює з розміром контуру.

Abstract—It is described an objects' contours sonification method based on an “angle-ordinate” signature with using 25 musical sounds in a middle-frequency sounds range convenient for human perception. The highest sounds correspond to highest contour's points. The sound volume is correlated to a contour's size: a large contour sounds louder than small one. The output sound range is modifiable and can be set by users.

Ключові слова—звукове кодування контурів; сигнатура; інформаційні технології для людей з вадами зору

Keywords—sonification of contours; signature; musical sounds, information technologies for people with visual impairment

I. ВСТУП

Велику категорію користувачів інформаційних ресурсів становлять люди з обмеженими зоровими можливостями. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я у світі понад 285 мільйонів людей страждає від порушень зору, з них 45 мільйонів незрячі. Тому актуальною проблемою є забезпечення цієї категорії користувачів засобами звукового супроводження візуальної інформації.

Для перетворення візуальних даних у звукову форму розроблено різні технології (методи). Найбільш відомою є

технологія vOICe [1]. Кодування зображення, представленого у цифровому вигляді як двовимірною матрицю, здійснюється по стовпцях: верхньому пікселю відповідає максимальна частота звуку, нижньому – мінімальна частота, яскравості пікселя – амплітуда звуку. Сигнали з одного стовпця підсумовуються і результуючий сигнал відтворюється. Цей процес повторюється для наступних стовпців. Наприклад, вертикальна лінія звучить як різкий шумовий сигнал (сумісне звучання точок, що знаходяться на різній висоті), а горизонтальна – як довгий тон, оскільки точки, з яких вона складається, відтворюють чистий тон. У випадку насиченого зображення його акустичний ландшафт є доволі складним для детального аналізу і потребує від користувача напрацювання значної акустичної “бази знань”. Крім того, попиксельне кодування зображення, яке часто містить багато надлишкової інформації для користувача, призводить до захаращення звукового сигналу, а генеровані акустичні ландшафти не завжди приємні для слуху людини.

Інший підхід реалізовано в системі SmartSight [2]. Кодування візуальної інформації щодо форми фігури на чорно-білому зображенні виконується по стовпцях із використанням рухомого курсору, поділеного на 50 сегментів, що відповідають нотам у чотирьох октавах шкали до мажор. Інформація щодо форми фігури в декартових координатах перетворюється в музичну послідовність, в якій абсциса представлена часом, а

ордината – нотами. Пікселі у стовпчику звучать як акорд, а пікселі у рядку відтворюються послідовно як мелодія.

Слід зазначити, що усю необхідну інформацію для розпізнавання об'єктів за формою містять їхні контури. Це дозволяє не розглядати внутрішні точки об'єкта і тим самим значно скоротити обсяг візуальної інформації, що потребує озвучування. Дослідження із психології зору і численні результати у галузі розробки автоматизованих систем розпізнавання показали, що контури є найбільш інформативними характеристиками для розпізнавання образів.

Мета дослідження – розробити метод кодування контуру об'єкта з використанням музичних звуків.

II. МЕТОД КОДУВАННЯ КОНТУРУ МУЗИЧНИМ ЗВУКОМ

Контур можна представити як множину точок P_i з координатами (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, N$, упорядкованих за годинниковою стрілкою. Це представлення є двовимірним. Для озвучування контурів потрібно привести до одновимірного вигляду з використанням сигнатури. Існують різні варіанти функцій-сигнатур [3, 4]. У методі, що пропонується, застосовується сигнатура “кут-ордината”. У цьому випадку значення (відліки) сигнатури відповідають ординатам точок контуру, взятих із рівним кроком по куту, під яким їх “видно” з центроїда (деякої середньої точки об'єкта, наприклад, його центра ваги). На основі даної сигнатури формується послідовність музичних звуків за принципом: більшому значенню сигнатури відповідає більша частота (вища нота). Слід зазначити, що здатність слухової системи людини розрізнити частоти нотного ряду є досить високою [5]. У даному методі для озвучування використовується рівномірно темперована музична шкала, у кожному повну октаву якої входять дванадцять звуків, послідовно розташованих за висотою тону. Сім із дванадцяти звуків мають власні назви – це назви нот.

Метод кодування контуру об'єкта музичним звуком складається з таких кроків.

1. Визначаються координати точки O – центра ваги описаного навколо контуру прямокутника, сторони якого паралельні осям x та y , та обчислюються координати точок P_i , $i = 1, \dots, N$, у новій прямокутній системі координат з початком у точці O . Перехід до такої системи координат забезпечить незалежність сигнатури від лінійного зміщення контуру, оскільки точка O буде зміщуватися разом з контуром.

3. Починаючи з першої точки контуру з від'ємною абсцисою та невід'ємною ординатою і рухаючись за годинниковою стрілкою, для кожної точки P_i визначається кут α_i , $0 \leq \alpha_i < 2\pi$, під яким її “видно” з центроїда O . Отримана послідовність кутів $\alpha_1, \dots, \alpha_N$ упорядковується за зростанням.

4. Формується масив ординат d_1, \dots, d_m контурних точок із заданим кроком $\Delta\alpha$ по куту, $m = \lfloor 2\pi/\Delta\alpha \rfloor$. Якщо

якогось кута немає в послідовності $\alpha_1, \dots, \alpha_N$, то відповідне значення ординати знаходиться інтерполяцією.

5., Виконується низка перетворень ординат, у тому числі їхнє нормування, щоб забезпечити інваріантність сигнатури d_1, \dots, d_m щодо повороту та розміру контуру. У результаті отримують $0 \leq d_k \leq 1$, $k = 1, \dots, m$.

6. Обчислюється частота f_k звукового сигналу для кодування k -ї точки контуру за формулою

$$f_k = f_{min} \cdot (\sqrt[2]{2})^{n_k}, k = 1, \dots, m,$$

де f_{min} – задана мінімальна частота звуку, n_k – найближче ціле число до $\lambda \cdot d_k$, λ – кількість нот, які використовуються для кодування. За замовчуванням покладається $f_{min} = 440$ Гц (ця частота відповідає ноті ля 4-ї октави), $\lambda = 25$. Максимальна частота становить 1760 Гц, що відповідає ноті ля 6-ї октави. Користувач може модифікувати вказаний за замовчуванням звуковий частотний діапазон, змінивши мінімальну частоту.

7. Послідовно генеруються музичні звуки обчислених частот f_1, \dots, f_m і амплітуди. Остання визначається за принципом: чим більше розмір контуру, тим більше значення амплітуди і відповідно тим гучніше звук.

Згідно з описаним методом найвищі ноти відповідають точкам, що лежать на контурі найвище. Наприклад, горизонтальна лінія звучить як довгий тон. Лінії, яка йде догори, відповідає звук, що стає усе вищим і вищим, лінії, яка йде донизу, – звук, що стає усе нижчим.

Побудований за цим методом звуковий образ несе візуальну інформацію про розташування точок контуру, при цьому задачу розпізнавання форми контуру виконує мозок людини. Оскільки у цьому методі для кодування використовуються музичні тони, то генеровані звуки будуть приємними для користувача, знадобиться менше часу для навчання. Крім того, створений музичний образ контуру знаходиться у діапазоні середніх частот, зручному для сприйняття слуховою системою людини.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] P.B.L. Meijer, “An Experimental System for Auditory Image Representations,” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 39, no. 2, pp. 112-121, February 1992.
- [2] J. Cronly-Dillon, K.V. Persaud, and R.P.F. Gregory, “The Perception of Visual Images Encoded in Musical Form: A Study in Cross-Modality Information Transfer,” *Proceedings: Biological Sciences*, vol. 266, no. 1436, pp. 2427-2433, 1999.
- [3] L. Vakal and Y. Vakal, “Method of Encoding Contours with Musical Sound,” *Applied Questions of Mathematical Modeling*, vol. 4, no. 1, pp. 50-58, August 2021.
- [4] D. Zhang and G. Lu, “Review of shape representation and description techniques,” *Pattern Recognition*, vol. 37, no. 1, pp. 1-19, January 2004.
- [5] O.V. Palagin and M.V. Semotiuk, “Virtualization Technologies Intrinsic to Living Beings,” *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 58, pp. 640-648, October 2022.

Medical Decision Support Systems Using Java Technologies

Viktoriia Astafieva
State University of Trade and
Economics
Kyiv, Ukraine
0009-0000-6701-7075

Dmytro Hnatchenko
State University of Trade and
Economics
Kyiv, Ukraine
0000-0002-6584-4525

Abstract—Medical Decision Support Systems (MDSS) are software applications that aid healthcare professionals in clinical decision making by offering relevant information and recommendations derived from patient data and medical knowledge. Due to its versatility, platform independence, and comprehensive library support, Java is a widely used programming language for creating MDSS. This article will delve into the essential components and features of Medical Decision Support Systems using Java.

Keywords— *machine learning, algorithms, decision support systems, Java, classifier*

I. CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS CHALLENGES

Assessing AI-based decision support systems (DDS) in clinical settings presents a number of methodological challenges, particularly in the early stages. These challenges include the need to take into account the complex nature of these systems and whether how they integrate with existing ecosystems, take into account user diversity and potential biases, which can arise, integrate both human and artificial intelligence, and therefore consider the human factor as a major component, evaluate as physical patients, and presentation of their data, analyze performance changes resulting from early prototyping, update versions or design of ongoing training, minimize the potential of this technology to preserve existing health inequalities and biases, assess the feasibility of generalizing results to different sites and populations, as well as ensuring the reproducibility of results in a dynamic innovation field while protecting intellectual property [1].

II. IMPORTANCE OF INFORMATION

A. Information Format

In order to validate and accept clinical decision support systems, it is reasonable to assume that explanation will be an important factor. Dispatchers require information in an intuitive and understandable format, such as visual cues that explain the recommendations of the system [2].

B. Critical Alerts

To ensure patient safety, it is important to reduce errors in treatment and prescribing, as well as adverse events such as alert fatigue that can occur when too many minor warnings or recommendations are presented, leading dispatchers to reject them regardless of importance. To prevent this, critical alerts must be prioritized and non-critical alerts minimized. Alerts

must also be adapted to particular characteristics and severity [2].

III. SOFTWARE TESTING

Testing software should be programmed with an algorithm that takes into account concomitant medications, laboratory parameters, patient demographics, and timing of administration as accurately as possible. Clinical treatment, including adherence to instructions, monitoring, and treatment reminders, is also essential. However, reliance on the accuracy of the system or over-reliance on it may impair the user's skills. To avoid this, the system design should not be overly prescriptive and should be evaluated based on the continuing impact on the system. You may need to modify the system structure to trigger additional checks or order confirmations if there are issues with accuracy [3].

A. Machine Learning Algorithms in Java For Alert Prioritization

There are various machine learning algorithms in Java that can be utilized for alert prioritization. Decision trees are one of the most commonly used algorithms, which can classify data and assign them to different priority levels [4]. Support vector machines, on the other hand, are ideal for binary classification tasks, such as determining if an alert is high or low severity [5]. Additionally, neural networks can learn complicated data patterns, making them effective for alert prioritization where there are complex alert patterns [6].

B. Critical Alerts

A Java machine learning algorithm can automatically prioritize alerts based on their severity and urgency. To begin, the algorithm is trained on a dataset of previous alerts, which includes information about the patient's medical history, the alert's severity, and the response's urgency. The algorithm then uses this information to recognize alert patterns and allocate them to various priority levels automatically. Once the algorithm is trained, it can prioritize new alerts, ensuring that healthcare professionals only receive the most critical alerts to focus their attention on the most crucial tasks [7].

C. Data Mining for DSS using Java

WEKA is an open-source and Java-based data mining tool that can be used on any operating system. Its range of algorithms includes classification, association, clustering, and regression, and it can also extract data from SQL databases. WEKA utilizes decision trees and neural networks to perform data mining classification, but it has some

limitations, such as limited methods for cluster analysis and the need to load all data into memory when [8].

IV. METHODS

In order to detect certain features of some disease cases, a machine learning model must be able to recognize patterns in a dataset. To generalize the model and overcome the issue of detecting a disease case across a large amount of medical data, it is necessary to teach the model, for example, an ANN, to detect specific features. The machine learning model will filter a group of data to extract significant features, primarily ranking their significance through principal component analysis and attribute subset evaluator filters or wrappers. These selected features are then processed for further classification, resulting in prediction. The predictive models include:

- ZeroR is a basic classifier that uses rules and only considers the target variable while ignoring all predictors. Its prediction is based on the majority class, which is only useful in setting a baseline performance for other classification methods. Only a few research papers have explored the use of baseline accuracy classifiers in their studies [9].
- The NB classifier, which consists of various classification algorithms rooted in Bayes' theorem, operates on the shared principle that every pair of classified features is independent from one another [10].
- The k-NN classifier is a decision-making technique that utilizes lazy learning and categorizes a sample by identifying its nearest neighbors. It is less prone to making errors, especially with large datasets, compared to other decision rules. The classifier employs patterns from the training dataset to classify a test pattern and assesses the similarity between the test pattern and each pattern in the training set [10].
- The LR classifier is based on logistic regression function and is utilized to create a hyperplane in the feature space for segregating observations that belong to a particular class from all other observations that do not belong to that class. As a result, the decision boundary is linear [11].
- J48 is a classification model based on Java, which has been optimized from the C4.5 decision tree algorithm. By using information entropy, it makes decisions based on a sample of data that includes predictors that are either univariate or multivariate. On the other hand, SVM is a classifier based on the support vector machine function. It can generalize between different classes if the training set provides a set of labeled data to the algorithm. The primary function of SVM is to verify that the hyperplane can differentiate between the two classes [11].

REFERENCES

[1] Baptiste Vasey, Myura Nagendran, Bruce Campbell, David A. Clifton, Gary S. Collins, Spiros Denaxas, Alastair K. Denniston, Livia Faes, Bart Geerts, Mudathir Ibrahim, Xiaoxuan Liu, Bilal A. Mateen, Piyush Mathur, Melissa D. McCradden, Lauren Morgan, Johan Ordish, Campbell Rogers, Suchi Saria, Daniel S. W. Ting, Peter Watkinson,

Wim Weber, Peter Wheatstone, Peter McCulloch & the DECIDE-AI expert group, Reporting guideline for the early-stage clinical evaluation of decision support systems driven by artificial intelligence: DECIDE-AI, Consensus Statement, *Nature Medicine* volume 28, pp. 924–933 (2022).

- [2] C. Panigutti, A. Beretta, D. Pedreschi, F. Giannotti, Understanding the impact of explanations on advice-taking: a user study for AI-based clinical Decision Support Systems, *CHI '22: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, April 2022 Article No.: 568, pp. 1–9.
- [3] R.T. Sutton, D. Pincock, D.C. Baumgart, D.C. Sadowski, R.N. Fedorak, K.I. Kroeker, An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success, *npj Digit. Med.*, 3 (1) (2020), pp. 17.
- [4] Reference: Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Chapman & Hall.
- [5] Reference: Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine learning*, 20(3), 273-297.
- [6] Heaton, J. (2018). *Deep Learning in Java*.
- [7] Ribeiro, P., & de Alencar Lotufo, R. (2020). *Java Machine Learning: Implementing Machine Learning Algorithms with a Java Programming Language*. Apress.
- [8] Bramer, M. (2013). *Principles of Data Mining* (2nd ed.).
- [9] Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2016). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques* (4th ed.). Morgan Kaufmann.
- [10] Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). *Data Mining: Concepts and Techniques* (3rd ed.). Morgan Kaufmann.
- [11] Kelleher, J. D., Mac Namee, B., & D'Arcy, A. (2015). *Fundamentals of Machine Learning for Predictive Data Analytics: Algorithms, Worked Examples, and Case Studies*. MIT Press.

Застосування нейронних мереж для ідентифікації взаємозв'язків між економічними змінними в процесі сценарного моделювання

Олександр Захарчук

кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
olekmay@gmail.com

Роман Кветний

д-р. техн. наук, професор кафедри автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
rkvetny@sprava.net

The application of neural networks for identifying relationships between economic variables in the process of scenario modeling

Oleksandr Zakharchuk

dept. of Automation and Intelligent Information Technology
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
olekmay@gmail.com

Roman Kvyetnyy

Dr. Sc., Professor of the dept. of Automation and Intelligent Information Technology
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
rkvetny@sprava.net

Анотація—В даній статі проведено аналіз методів для ідентифікації взаємозв'язків між економічними змінними при виконанні сценарного моделювання. Розглянуто можливість застосування нейронних мереж глибинного навчання для пошуку взаємозв'язків між залежними та пояснювальними змінними з можливістю відновлення значень. Запропоновано підхід для оптимізації процесу навчання та підвищення точності прогнозування

Abstract—The article provides an analysis of methods for identifying relationships between economic variables in the context of scenario modeling. The possibility of applying deep learning neural networks for exploring relationships between dependent and explanatory variables with value restoration capabilities is examined. An approach for optimizing the learning process and improving the accuracy of forecasting is proposed.

Ключові сценарне моделювання; нейронні мережі; ідентифікація взаємозв'язків; регресійний аналіз

Keywords— scenario modeling, neural networks, identification of relationships, regression analysis

I. ВСТУП

Сценарне моделювання є невід'ємною частиною сучасного фінансового аналізу. Одним з найголовніших кроків в процесі моделювання є пошук взаємозв'язків між залежними та пояснювальними змінними для подальшого відновлення значень залежних змінних на основі наявних сценаріїв. Традиційно, для цих цілей використовуються регресійні моделі, що допомагають встановити статистичні зв'язки між змінними. Однак, зростання доступності обчислювальних ресурсів та розвиток глибокого навчання відкривають нові можливості для використання нейронних мереж у сценарному моделюванні. Нейронні мережі володіють унікальними перевагами, які забезпечують перевагу над регресійними моделями в контексті пошуку складних залежностей [1].

Нейронні мережі здатні моделювати складні залежності між змінними. Вони можуть виявляти нелінійні та неочевидні взаємозв'язки, які можуть залишатися непомітними для регресійних моделей. Це дає можливість отримувати більш точні та комплексні прогнози, що є важливим для ефективного управління ризиками та

доходністю інвестиційних портфелів. Окрім цього, нейронні мережі можуть ідентифікувати важливі ознаки або складові змінних. Вони самостійно визначають оптимальні комбінації вхідних змінних та шукають найбільш релевантні фактори, які впливають на прогнози. Це дозволяє знайти незрозумілі для регресійних моделей зв'язки та отримати більш повне уявлення про динаміку економічних процесів.

Використання нейронних мереж глибокого навчання у сценарному моделюванні інвестиційних ризиків та портфелів відкриває нові можливості для дослідників та фахівців у фінансовій галузі, що дозволяє отримати більш точні та надійні прогнози, а також покращити управління інвестиціями та зменшити ризики [1].

Метою даної роботи є підвищення ефективності сценарного моделювання на основі застосування нейронних мереж для ідентифікації та відновлення взаємозв'язків між змінними, як альтернативи регресійному аналізу.

II. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для виконання поставленої задачі було обрано просту послідовну модель нейронної мережі, де шари розташовуються один за одним без зворотних зв'язків, а дані передаються в одному напрямку від вхідного до вихідного шару. Схема застосованої моделі зображена на рис. 1. Дана модель є простою для використання та розуміння, а також має оптимальний час навчання, який можна порівняти до часу обчислення коефіцієнтів регресії [2].

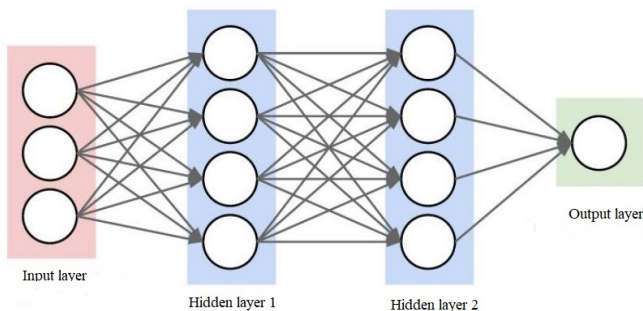


Рис. 1. Проста послідовна модель нейронної мережі

Для виконання дослідження та порівняння методів необхідно визначити набори залежних між собою економічних змінних для пошуку взаємозв'язків. Для прикладу було взято ціну на акції компанії Apple як залежну змінну для проведення обрахунків та наступні пояснювальні змінні які мають вплив на неї: індекс загальної позики та відсоткової ставки позик, індекс Dow Jones Industrial Average, середній індекс споживчих цін, загальний індекс промислового виробництва, рівень безробіття, індекс експортних цін, промислові та комерційні кредити всіх комерційних банків. Історичні дані для даного набору змінних були завантажені з таких ресурсів як FRED та Yahoo Finance.

Після підготовки історичних даних, необхідно виконати нормалізацію даних. Для цієї задачі було обрано метод

MinMaxScaler з приведенням історичних значень до діапазону [0; 1] (1).

$$x_{scaled} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (1)$$

Навчальний та тестові набори були сформовані зі співвідношенням 80% та 20% відповідно.

Підготовка моделі нейронної мережі вимагає визначення ряду параметрів, таких як кількість прихованих шарів, кількість нейронів, розмір порцій та кількість епох навчання. Ці параметри впливають на точність та ефективність моделі. Проте, визначення оптимальної конфігурації моделі є складною задачею і не існує універсального інструменту для його розв'язання [3].

В даному дослідженні було виконано експериментальний підхід до визначення параметрів моделі нейронної мережі. Було проведено аналіз близько 1000 різних комбінацій параметрів. Після аналізу результатів було встановлено, що оптимальною функцією активації є ReLU, а конфігурація моделі включає 4 приховані шари, кожен з яких містить 512 нейронів. Для досягнення кращих результатів було використано 1000 епох навчання, з розміром порції 32. Дана конфігурація дозволила навчити модель з абсолютною похибкою при відновленні значень залежної змінної – 8.67%.

В процесі дослідження було виявлено зв'язок між абсолютною похибкою та розміром порції для навчання моделі. Зменшення розміру порції до 1 дозволило значно зменшити абсолютну похибку моделі до 7.3%. На рис. 2 показано графік зміни похибок в процесі навчання моделі.

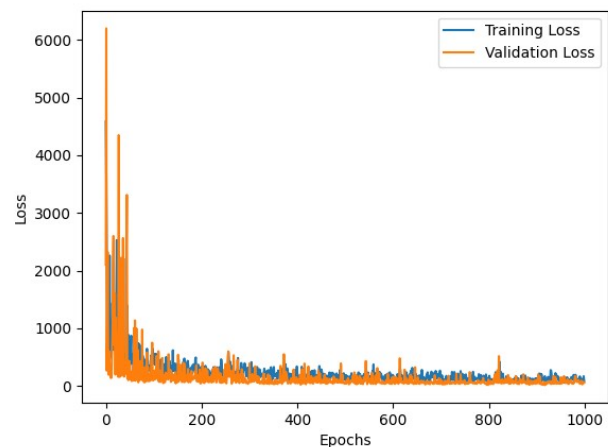


Рис. 2. Графік зміни похибок моделі в процесі навчання

Для запобігання перенавчанню моделі та зменшення впливу шуму вхідних даних, до моделі були застосовані регулятори L1 та L2. До кожного прихованого шару моделі було застосовано L1 регулятор з штрафом $1e^{-5}$, а до вихідного шару моделі було застосовано L2 регулятор з штрафом $1e^{-4}$. Навчання моделі з регуляторами показало зменшення абсолютної похибки до 5.4%. Окрім цього, на графіку можна спостерігати зменшення початкової похибки моделі та прискорення процесу навчання на перших епохах,

а також появу додаткових коливань, які з'являються внаслідок запобігання перенавчанню моделі.

Для оптимізації отриманих результатів було проведено дослідження історичних даних на належність нормальному розподілу за тестом Шапіро-Вілкі (2) [4].

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

де

- $x_{(i)}$ - є статистикою i -го порядку, тобто i -м найменшим числом у вибірці;
- \bar{x} - є вибірковою середнім значенням;
- (a_1, \dots, a_i) - задані коефіцієнти.

Якщо отримані коефіцієнти тесту є меншими за 0.05, це означає що дані не розподіляються за нормальним розподілом. Інтеграція даного тесту для перевірки вхідних історичних даних пояснювальних змінних, показала що більшість змінних не розподіляються за нормальним розподілом, враховуючи це, для покращення ефективності прогнозування необхідно нормалізувати змінні, які не підлягають нормальному розподілу. Для нормалізації історичних даних було застосовано формулу 3 [5].

$$value_i = \ln(value_i), \quad (3)$$

де $value_i$ - значення часового ряду в i -й проміжок часу.

В результаті обробки вхідних даних похибка прогнозування після повторного навчання моделі була зменшена до 4.2%. На рис. 3 зображено процес навчання моделі з урахуванням всіх змін.

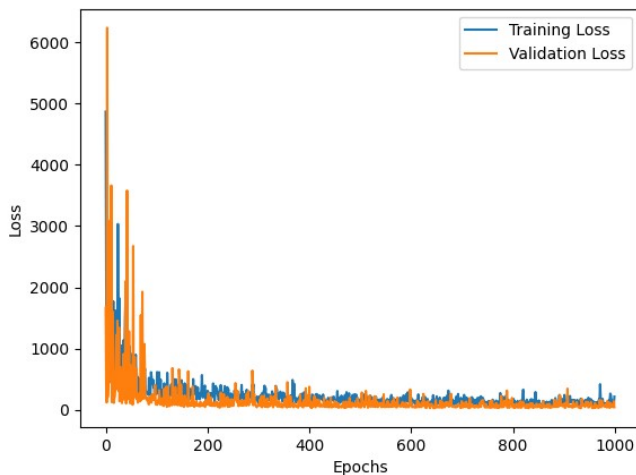


Рис. 3. Процес навчання моделі з регуляторами L1 та L2 та нормалізованими даними

Для порівняння отриманої моделі з регресивним аналізом, було проведено аналіз даного набору змінних методами LassoCV, OLS, LassoCV, LassoCVLars. За даними

тестування найбільш оптимальним методом було визначено OLS з абсолютною похибкою при зворотному тестуванні - 7.4%. На рис. 4 зображено графік з порівнянням результатів прогнозування з застосуванням регресійного аналізу та отриманої моделі на реальних даних за період з 28/02/2022 до 09/30/2022.

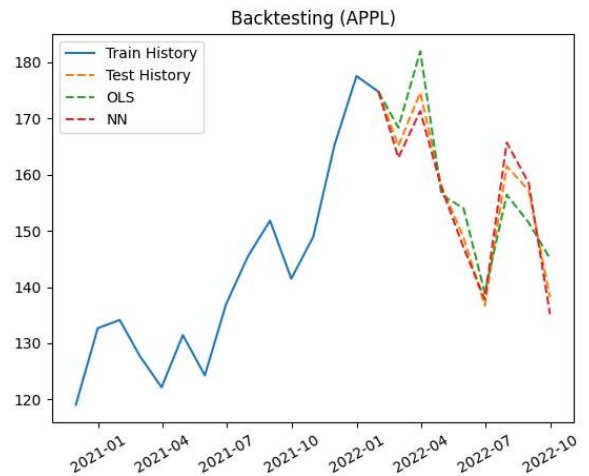


Рис. 4. Порівняння результатів прогнозування отриманих з використанням регресійного аналізу та розробленої моделі

Отримані дані результатів прогнозування наведені в таблиці 1.

TABLE I. РЕЗУЛЬТАТИ ПРОГНОЗУВАННЯ

Дата	Історичні дані	Результати регресійного аналізу	Результати розробленої моделі
2/28/2022	165.12	168.38473	163.03342
3/31/2022	174.61	181.9853	171.35022
4/30/2022	157.96001	156.40643	157.64313
5/31/2022	148.84	154.04514	153.07237
6/30/2022	136.72	138.96261	137.82635
7/31/2022	161.50999	156.45011	165.71998
8/31/2022	157.22	151.47017	158.54218
9/30/2022	138.2	145.09943	140.16711

В результаті виконаного прогнозування, абсолютна похибка результатів регресійного аналізу методом OLS склала 3.5%, а абсолютна похибка результатів отриманих з навченої моделі нейронної мережі склала 1.9%.

З отриманих даних можна зробити висновок, що використання нейронних мереж для ідентифікації та відновлення взаємозв'язків між економічними змінними є ефективним та може використовуватись як заміна регресійному аналізу для підвищення ефективності сценарного моделювання.

III. ВИСНОВКИ

В даній роботі було досліджено застосування нейронних мереж, як альтернативи регресійному аналізу для ідентифікації та відновлення взаємозв'язків між економічними змінними. Було запропоновано підхід для

побудови нейронної мережі на основі послідовної моделі без зворотних зв'язків з використанням L1 та L2 регуляторів. Розроблено метод для підвищення ефективності прогнозування з застосуванням тесту Шапіро-Вілка для ідентифікації змінних які не належать до нормального розподілу та нормалізації їх історичних даних, що дозволяє підвищити ефективність навчання розробленої моделі.

В результаті дослідження було продемонстровано, що нейронні мережі є ефективним інструментом для ідентифікації та відновлення взаємозв'язків між економічними змінними та можуть бути застосовані як альтернатива регресійним моделям для підвищення ефективності сценарного аналізу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] О. Захарчук, "Моделювання макроекономічного середовища з застосуванням нейронних мереж", Конференції ВНТУ електронні наукові видання: ВНТУ, Вінниця, 2021, [Online]. Available: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2022/paper/view/14421>.
- [2] В. М. Дубовой, Р. Н. Кветний, О. І. Михальов, А. В. Усов, "Моделювання та оптимізація систем", Вінниця, Україна, ВНТУ: Едельвейс, 2017, vol. 4, pp. 123-127.
- [3] К. Н. Bertrand, "Scenario Analysis in Risk Management", Switzerland, Springer, 2016, vol. 3, pp. 67-69.
- [4] Н. Kosow, R. Gassner, "Methods of Future and Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria", Bon, Gemany, German Institute for Development, 2008, vol. 1, pp. 5.
- [5] К. Н. Bertrand, "Machine Learning for Financial Risk Management with Python", Sebastopol, O'Reilly Media, 2021, vol. 2, pp. 121-122.

Досягнення Та Недоліки Сучасних Компютеризованих Навчальних Систем

Когутюк Ігор,
професор Фізики державного університету штату Міннесота,
США

Achievements And Failures Of Modern Computerized Educational Systems

Kogoutiuk Igor
Professor of Physics, Minnesota State University, Mankato,
US

Анотація Впровадження багатогілкових навчальних систем дозволило викладачам приділити індивідуальну увагу майже кожному студенту, але в той же час привело до різкого зростання використання платних вебсайтів які розв'язують завдання замість студента.

Abstract—The introduction of the multibranch educational software enabled instructors to provide personalized approach almost to every student, but at the same time led to wide-spread student's cheating through subscription to problem solving websites

Ключові слова— багатогілкові навчальні програми; платний розв'язок студентських завдань

Keywords— multibranch educational systems; subscription to cheating-enabling sites

For a long time, college and university instructors were looking for the computerized systems that could support their teaching. Maybe, a little bit in enhancing the lectures with video and simulation apps, but mostly in better approach to every student – assessing their understanding of material, grading their homework and providing personalized individual coaching. Administrators were also looking for the ways of reaching the larger number of students through on-line teaching with smaller number of selected faculties. For tens of years, however, the proponents of business approach – more service with reduced working force – didn't succeed much in establishing such model in institutions of higher education, but never lost a hope that it could be done with the development of more sophisticated algorithms of computerized teaching. Students, in turn, were expecting from computerized educational programs the better availability of help in mastering complex material, while some of them were looking for easier way toward obtaining diploma.

No wonder, that having so many sides waiting for the proper educational software, companies, often in cooperation with publishers of textbooks were in rush to invest, develop and introduce the number of products aimed for use at universities. Substantial progress was achieved in the last ten years with the introduction and considerable development of multibranch approaches like WileyPlus and Mastering Physics, for example. In such programs the students are assigned the problems, often with randomized data, and give the professors the options for automatic guiding and tutoring of students. In other words, if student can't solve the problem in electric engineering, for example, the program would refer him/her to the current and previous topics in engineering and then, if necessary, to the deficient knowledge in Physics or even in Calculus or Algebra. It goes deep, even up to teaching how to solve the quadratic equation if needed at the end. At each step the referenced knowledge is combined with additional tasks for developing or retrieving skills the student was lacking.

Such programs combined with professor's class instructions, create almost ideal environment for the students who want to study and acquire the skills. They also benefit greatly instructors, especially those who are working with large size classes (40-350 students). Along with helping professors in grading home assignments, they have allowed the personal tutoring as well as feedback report on topic understanding. University administrations also acquired a tool to increase student to faculty ratio based on enhanced instructor's ability to teach large size classes.

The reality of introduction of such computerized educational systems appeared to be far away from the expectations of stellar performance. During Covid-19 required on-line teaching I was impressed with increased to 93-95% average class grade in student's home assignments and on-line-performed exams. The

report that I requested from company that maintain such on-line assessment, have shown that some students spent at average about 40 seconds for solving the problems while even experienced teacher needs at least five minutes to find the correct answer. It was evidently that students were cheating. Not by copying their work from peers, as they received randomized data assignment, but by employing on-line pirate and in the last years even official services that boast to have algorithimical solutions to all published in US textbook's problems. As the result, the honest students who tried to solve the assignments by themselves and make some small mistakes in the process, were the ones who received the lowest grades as their reports weren't as perfect as the cheater's ones.

There is no "one size fits all" perfect teaching (including computerized teaching) method suitable for all the students. In my observations, about 10-20% of all students have the ability, willingness, and persistence to learn the material and acquire the appropriate skills with little or no guide from instructor who can be live person or computerized program. Paradoxically, those are the students that benefit most from the use of on-line multibranching, tree-like sophisticated educational programs. On the other side there are about 20% of students that have no abilities and no interest in learning and can't master the program of study nor with instructor neither with computer program. They probably need to change their majors or abandon the pursuit of higher education degrees. However, as I have seen in the last years, there is an increasing number of such persons managing to get through the programs of study with the help of cheating services and getting diplomas sometimes with pretty dissent grades. About two third of student body needs some kind of enforcement that previously was imposed by instructors in the form of passing grades and fulfilled assignments. The success of "cheaters" showed this middle group very bad example and lured more and more students into the "path of least resistance", where instead of hard work they just have to subscribe into cheating problem-solving service websites. The situation has considerably worsen with recent introduction of ChatGPT and other AI (artificial intelligence) applications. Just this year, I have been at some student research and diploma thesis presentations where presenter showed the excellent results but

couldn't answer the simple questions about the basic physical principles of the processes they are investigating and methods they are employing. I believe that presentations and following discussion in front of the peers of the variety of tasks, starting from home assignment problems to the findings of the research activities is very effective method to fight the cheating approach. On the other hand, it limits the reasonable class size to 10-15 students maximum.

The use of some programs as GPTZero can also provide some help in determination whether the material was written by AI, but it shows only some (high or low) probability of such occurrence. It can't be used as a "proof without any reasonable doubt" of student's cheating especially in a court trial. With American students blaming their course failure on professors and universities and challenging them in courts, university administration often finds more convenient to settle the claim (pay tens or hundreds thousands dollars to complainer) then fight claims in the court. Often such development is accompanied by increased pressure on the faculty to change student's grade. Accusing and punishing student for cheating can lead to substantial risk of faculty to be accused of bias. No doubt that such

leads to grade inflation and decreasing value of higher education diplomas.

The decline of the level of skills possessed by recent university graduates, especially ability to logical reasoning, problem solving and troubleshooting, lead some employers to offer diploma holders not as lucrative starting salary compared to their non-educated workers as it was before. Many of them dropped degree requirements offering at the same time company-paid university courses as a path to higher paid positions. Most of the American universities suffer today from declining enrollments, part of them are cutting the number of programs and faculties. It seems to me that higher education in the US and maybe in the whole world is at the threshold of very serious restructuring and resizing. Introduction of the AI and other sophisticated software technologies in the educational system is accelerating such process considerably.

Проблеми Створення Інструментальних Засобів Проактивного Управління Промисловим Підприємством

Дмитро Костарев
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
dmytro.kostaryev@gmail.com

Андрій Тевяшев
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
andrew.teviashev@nure.ua

Наталія Сізова
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних
технологій
Харківський національний університет міського
господарства
Харків, Україна
sizova@ukr.net

Володимир Ткаченко
кафедра медіасистем та технологій
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Problems of Creating Tools for Proactive Management of Industrial Enterprises

Dmytro Kostaryev
dept. of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.kostaryev@gmail.com

Andrew Teviashev
dept. of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Nataliya Sizova
dept. of Computer Science and Information Technologies
National University of Urban Economy
Kharkiv, Ukraine
sizova@ukr.net

Volodymyr Tkachenko
dept. of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Анотація—Показано, що в період глобалізації товарного ринку та світової економіки, розширення та індивідуалізація виробництва високоякісних товарів та надання послуг, необхідність зниження їх собівартості призвели до корінних змін у розробці та використанні новітніх технологій виробництва товарів та надання послуг, постають актуальні питання створення сучасних систем управління підприємством що забезпечують його сталий розвиток в

умовах жорстокої конкуренції на товарному ринку. Системне вирішення цієї проблеми можливе шляхом використання проактивного управління підприємством, яке ґрунтується на передбаченні можливих проблем і вживанні заходів по їхньому запобіганню, що дозволяє підприємству бути готовим до можливих проблем і вирішувати їх до того, як вони виникнуть. Наведено, що ефективне розв'язання завдань проактивного управління підприємством може бути

реалізовано за допомогою інформаційних платформ, яка може включати операційну систему, середовище розробки, бази даних, мережеві засоби, інструменти аналізу даних та інші компоненти необхідні для ефективної роботи системи управління підприємством.. Наведено класифікацію платформ за призначенням, показано, що розробка таких платформ та розширення їх функціональності на всі види діяльності підприємства є одним із основних напрямів створення інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством. дати українській промисловості інструменти, щоб стати світовими лідерами

Abstract—It is shown that during the period of globalization of the commodity market and world economy, the expansion and individualization of production of high-quality goods and services, and the necessity of reducing their cost, have led to fundamental changes in the development and use of the latest technologies of goods production and service provision. The relevant questions of creating modern enterprise management systems that ensure its sustainable development under harsh competition in the commodity market arise. A systemic solution to this problem is possible through the use of proactive enterprise management, which is based on predicting potential problems and taking measures to prevent them. This allows the enterprise to be prepared for possible problems and solve them before they occur. It is noted that the effective solution of the tasks of proactive enterprise management can be implemented through the use of information platforms, which may include an operating system, development environment, databases, network tools, data analysis tools, and other components necessary for the effective operation of the enterprise management system. A classification of platforms according to their purpose is presented, showing that the development of such platforms and the expansion of their functionality to all types of enterprise activities is one of the main directions in creating instrumental tools for proactive management of an industrial enterprise, giving Ukrainian industry the tools to become world leaders

Ключові слова—проактивне управління; інформаційна платформа; промислове підприємство; інструментальні засоби

Keywords—proactive management; information platform; industrial enterprise; instrumental tools

I. ВСТУП

Глобалізація товарного ринку та світової економіки, розширення та індивідуалізація виробництва високоякісних товарів та надання послуг, необхідність зниження їх собівартості призвели до корінних змін у розробці та використанні новітніх технологій виробництва товарів та надання послуг, глобального впровадження у виробництво інтелектуальних роботів і коботів, які використовують синергію між людьми та машинами для виконання технологічних операцій, промислової діджиталізації, всеосяжного використання промислового Інтернету речей у вигляді сенсорних мереж інтелектуальних датчиків, з вбудованою аналітикою, що забезпечують безперервний моніторинг у реальному часі технологічного обладнання, енергоспоживання, зовнішньої та складської логістики, персоналу.

Все це дозволяє скоротити витрати на виробництво, підвищити його ефективність та якість продукції і надання

послуг, суттєво покращити його фінансову стабільність та конкурентоспроможність на ринку. У зв'язку з цим постають актуальні питання створення сучасних інформаційних технологій управління промисловим підприємством, що забезпечують його сталий розвиток в умовах жорстокої конкуренції на товарному ринку. Системне вирішення цієї проблеми можливе шляхом використання проактивного управління підприємством, яке ґрунтується на передбаченні можливих проблем і вживанні заходів по їхньому запобіганню, що дозволяє підприємству бути готовим до можливих проблем і вирішувати їх до того, як вони виникнуть [1].

II. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

Практична реалізація проактивного управління промисловим підприємством призводить до необхідності корінної перебудови практично всіх видів діяльності підприємства .

Ефективне розв'язання завдань проактивного управління підприємством може бути реалізовано у складі інформаційних систем, які базуються на відповідних моделях, методах, алгоритмах та їх реалізації апаратно-програмними засобами [2-5].

У рамках інформаційних комплексних програмно-апаратних систем для проактивного управління, платформа - це технологічна база або основа, на якій будуються інші компоненти системи. Вона забезпечує спільні стандарти, інструменти, сервіси та інфраструктуру для розробки, розгортання і функціонування додатків і модулів системи.

Платформа може включати апаратне забезпечення, операційну систему, середовище розробки, бази даних, мережеві засоби, інструменти аналізу даних, а також інші компоненти, необхідні для побудови та ефективної роботи системи управління.

III. ОСНОВНА ЧАСТИНА

В якості інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством використовуються інформаційні платформи, які можуть включати апаратне забезпечення, операційну систему, середовище розробки, бази даних, мережеві засоби, інструменти аналізу даних, а також інші компоненти, необхідні для побудови та ефективної роботи інформаційної системи проактивного управління підприємством. Платформа надає розробникам можливість створювати нові додатки і модулі, які інтегруються з існуючими компонентами системи. Вона також забезпечує єдину точку доступу до функціональності системи, управління правами доступу, масштабування та інші сервіси для підтримки роботи всіх компонентів.

Використання інформаційних платформ для проактивного управління сприяє швидкому розгортанню, інтеграції та розвитку системи, зменшенню зусиль і витрат на розробку та підтримку програмного забезпечення, а також полегшує управління системою в цілому[8-10].

В рамках концепції Індустрія 5.0 інформаційна платформа - це програмно-апаратні засоби, що

забезпечують моніторинг стану контрольованого виду діяльності підприємства шляхом опитування в реальному масштабі часу величезної кількості інтелектуальних датчиків, інтелектуальну обробку одержуваних даних, їх аналіз, розпізнавання, початок позитивних або негативних трендів, надання отриманих результатів в інші платформи та їх захист. При цьому основним напрямом створення засобів виробництва є розробка та впровадження у виробництво інтелектуальних роботів, що дозволяє суттєво збільшити продуктивність підприємства, скоротити витрати на виробництво, підвищити його ефективність, якість продукції та надання послуг, покращити його фінансову стабільність та конкурентоспроможність на ринку. Основним напрямом створення засобів контролю виробництва товарів та надання послуг є розробка та впровадження інтелектуальних датчиків з вбудованою аналітикою і глобальна інтеграція систем як в межах підприємства, так і в серед множини підприємств в рамках бізнес - взаємодії в одній або в декількох суміжних галузях [3-5].

Розробка інформаційних платформ виконується індивідуально для всіх видів діяльності підприємства та є однією з ключових проблем створення інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством. Незважаючи на величезну різноманітність видів діяльності підприємства всі платформи, що розробляються, мають стандартну функціональність [6-7]:

- Стандартизація та уніфікація. Платформи надають спільні стандарти, протоколи і способи взаємодії між різними системами. Це дозволяє різнорідним системам спілкуватися та обмінюватися даними інтуїтивно зрозумілим способом. При використанні спільних стандартів виникає можливість підключення нових платформ до існуючої інфраструктури без потреби великого перепроєктування.
- Моніторинг кожного виду діяльності. Платформи надають механізми для збору, обробки та агрегації даних з різних джерел-інтелектуальних датчиків із вбудованою аналітикою, що об'єднані технологією інтернету речей. Це дозволяє в реальному часі оцінювати показники стану кожного виду діяльності та інтегрувати дані з різних систем в одне централізоване сховище даних, де вони можуть бути проаналізовані та використані для прийняття рішень. Інтеграція даних дозволяє забезпечити єдину точку доступу до інформації і підвищити її якість та достовірність.
- Прогнозування показників стану підприємства. Платформи забезпечують обчислення прогнозів та їх довірчих інтервалів із заданим упередженням залежно від безлічі внутрішніх та зовнішніх факторів та дозволяють оцінити початок виникнення стохастичних та детермінованих трендів.
- Ідентифікація потенційних загроз. Аналіз трендів розвитку підприємства та товарного ринку дозволяють на ранніх стадіях ідентифікувати

потенційні загрози (ризик) стійкому розвитку підприємства та провести їх ранжування за ступенем їхньої потенційної (фінансової, технологічної, іміджевої тощо) небезпеки. Платформи можуть включати функціональність для моделювання та автоматизації бізнес-процесів. Це дозволяє інтегрувати процеси, що перетинаються між різними системами, і забезпечує автоматичну обробку та керування цими процесами. В результаті підвищується ефективність роботи системи в цілому та зменшується ймовірність помилок.

- Проактивне (антикризове) управління ризиками. У результаті застосування проактивного управління ризиками на промисловому підприємстві досягається не тільки підвищення ефективності його функціонування та мінімізації можливих негативних наслідків, але і підвищення стійкості компанії на товарному ринку в довгостроковій перспективі.

IV. ВИСНОВКИ

Аналіз проблем створення інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством показав, що основним напрямом розробки засобів виробництва стає використання інтелектуальних промислових роботів, а розробки засобів контролю - виробництва інтелектуальних датчиків з вбудованою аналітикою. У якості інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством виступають інформаційні платформи, що забезпечують моніторинг стану діяльності підприємства шляхом опитування в реальному часі величезної кількості інтелектуальних датчиків, інтелектуальну обробку одержуваних даних, їх аналіз, розпізнавання початку позитивних або негативних трендів, надання отриманих результатів в інші платформи та їх захист. Інформаційні платформи створюються майже з усіх видів діяльності промислового підприємства: моніторингу та прогнозування стану ринку та підприємства; планування та оптимізації технологічних процесів; управління логістикою; контролю якості; управління складом; підтримки прийняття рішень; управління ланцюгом поставок; управління взаємодією з клієнтами; управління персоналом; управління проектами; управління інтелектуальною власністю; електронного документообігу.

Таким чином створення та використання інструментальних засобів проактивного управління промисловим підприємством дозволяє:

- запобігти або знизити можливі фінансові втрати, пов'язані з ризиками, що може значно знизити витрати підприємства.
- підвищити якість продукції, тому що дозволяє виявляти й усувати потенційні проблеми до того, як вони приведуть до серйозних наслідків (такі проблеми як передчасне старіння устаткування, неякісна сировина, некомпетентний персонал і т.д.).
- запобігти можливим аваріям і нещасним випадкам, що у свою чергу підвищує рівень безпеки на підприємстві.

- підвищити свою конкурентоспроможність за рахунок поліпшення якості продукції, зниження витрат і підвищення безпеки.
- запобігти можливим юридичним проблемам, які пов'язані з порушенням законодавства й нормативних вимог, що може знизити правові ризики для підприємства.
- поліпшити свою репутацію й імідж в очах клієнтів, партнерів і громадськості.
- оптимізувати управління підприємством за рахунок виявлення й усунення потенційних проблемних областей і поліпшення процесів виробництва.
- знизити рівень стресу для персоналу на підприємстві, який може почувати себе більш захищеним і впевненим у своїй роботі.

Загалом, використання платформ допомагає інтегрувати різнопланові системи в одну, забезпечує їх взаємодію та координацію, а також підвищує ефективність функціонування шляхом стандартизації, інтеграції даних, управління процесами та масштабованості.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Стратегічне планування як головна умова функціонування підприємства [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://pidruchniki.com/13820328/menedzhment/strategichne_planuvannya_golovna_umova_funktsionuvannya_pidpriyemstva.
- [2] Giannakis, M., Louis, M. R. A cybernetic model for manufacturing strategy [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.006>.
- [3] Westerveld, G. H., & Latumahina, J. M. (2017). Platform Ecosystems: Aligning Architecture, Governance, and Strategy.
- [4] Parker, G., Van Alstyne, M. W., & Choudary, S. P. (2016). Platform Revolution: How Networked Markets Are Transforming the Economy and How to Make Them Work for You.
- [5] Shah, S. (2015). Platform Scale: How an Emerging Business Model Helps Startups Build Large Empires with Minimum Investment.
- [6] Харів А. Р., Лагун А.Е. Автоматизована система моделювання та прогнозування діяльності підприємства // Вісник ЛДУБЖД –2021.– № 23.– С. 20–29.
- [7] Черноус Г. Информационное обеспечение проактивного управления//Вісник КНТЕУ.–2012.–№5.–С.102-11.
- [8] Miillera E., Hopfa H. Competence Center for the Digital Transformation in Small and Medium-Sized Enterprises. Flexible Automation and Intelligent Manufacturing: In: 27th International Conference. Procedia Manufacturing 11.2017. pp. 1495-1500.
- [9] Fostolovich V.A. Formation of modern integrated enterprise management systems with the application of digital Technologies Sciences of Europe # 50, (2020). pp. 70-79.
- [10] Тевяшев А. Д. Об одной стратегии оптимизации режимов работы газотранспортных систем [Текст] / А. Д. Тевяшев, О. А. Тевяшева, В. С. Смирнова, В. А. Фролов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – Т. 4, № 3 (46). – С. 48–52.. <http://journals.urau.ru/eejet/article/view/2948/2751>

Проблеми Проактивного Управління Ризиками Промислового Підприємства

Дмитро Костарєв
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
dmytro.kostaryev@gmail.com

Андрій Тевяшев
кафедра прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
andrew.teviashev@nure.ua

Наталія Сізова
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних
технологій
Харківський національний університет міського
господарства
Харків, Україна
sizova@ukr.net

Володимир Ткаченко
кафедра медіасистем та технологій
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Problems of Proactive Risk Management of Industrial Enterprises

Dmytro Kostaryev
dept. of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
dmytro.kostaryev@gmail.com

Andrew Teviashev
dept. of Applied Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
andrew.teviashev@nure.ua

Nataliya Sizova
dept. of Computer Science and Information Technologies
National University of Urban Economy
Kharkiv, Ukraine
sizova@ukr.net

Volodymyr Tkachenko
dept. of Media Systems and Technologies
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.tkachenko@nure.ua

Анотація—Показано, що системне вирішення проблеми управління ризиками промислового підприємства в період глобалізації товарного ринку та світової економіки можливе шляхом використання проактивного управління ризиками підприємством, яке запобігає загрозам будь-якого характеру з усіх видів діяльності підприємства, або полегшує їх вирішення, покращує продуктивність, ефективність і якість вироблених товарів та надання послуг. Показано, що процес проактивного управління ризиками промислового підприємства складається з двох етапів: аналіз детермінованих трендів розвитку промислового підприємства та товарного ринку, а також розробка і реалізація

превентивних дій для їх узгодження. У результаті застосування проактивного управління ризиками на промисловому підприємстві досягається не тільки підвищення ефективності його функціонування та мінімізація можливих негативних наслідків, але і підвищення стійкості підприємства на товарному ринку в довгостроковій перспективі

Abstract—It is demonstrated that the systemic solution to the problem of risk management of an industrial enterprise during the globalization of the commodity market and world economy can be achieved through the use of proactive risk management, which

prevents threats of any nature from all types of enterprise activities, or facilitates their resolution, and improves productivity, efficiency, and quality of the products and services provided. It is shown that the process of proactive risk management of an industrial enterprise consists of two stages: analysis of deterministic trends in the development of the industrial enterprise and the commodity market, as well as the development and implementation of preventive actions for their alignment. As a result of applying proactive risk management at an industrial enterprise, not only is the efficiency of its operation and minimization of potential negative consequences achieved, but also the increase in the enterprise's resilience in the commodity market in the long term perspective

Ключові слова—проактивне управління; ризики; промислове підприємство; інструментальні засоби; інформаційна платформа

Keywords—proactive management; risks; industrial enterprise; instrumental tools; information platform

I. ВСТУП

Діяльність промислового підприємства в умовах глобалізації товарного ринку та жорсткої конкуренції завжди пов'язана з наявністю впливу на підприємство величезної кількості зовнішніх та внутрішніх неконтрольованих, а іноді й неспостережуваних факторів, вплив яких не можна заздалегідь точно визначити. Це означає, що як об'єкт управління промислове підприємство необхідно розглядати як цілеспрямований стохастичний об'єкт, який функціонує в стохастичному середовищі, що цілеспрямовано змінюється. Невизначеність трендів розвитку промислового підприємства та трендів розвитку товарного ринку може приводити до появи ризиків практично у всіх сферах діяльності промислового підприємства. Для збереження трендів сталого поступального розвитку промислового підприємства необхідно використовувати ефективну систему управління ризиками. У [1] показано, що на сучасному етапі розвитку промислового підприємства та товарного ринку найефективнішою є стратегія проактивного управління ризиками, яка запобігає загрозам будь-якого характеру та проблемам, або полегшує їх вирішення, покращує продуктивність, ефективність та якість вироблених товарів та надання послуг.

II. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ

Процес проактивного управління ризиками промислового підприємства складається із двох етапів: аналіз трендів розвитку промислового підприємства та товарного ринку; розробка та реалізація превентивних дій для узгодження трендів. Аналіз трендів здійснюється шляхом моніторингу (спостереження) в реальному часі за зміною значень показників, що характеризують стан промислового підприємства та товарного ринку, що дозволяє виявити будь-які нетипові відхилення (події), що свідчать про приховані збої або вразливості. Якщо такі події з'являються випадковим чином, то це свідчить про прояв стохастичних трендів, які не становлять небезпеки. Якщо послідовність подій, що спостерігається, стає корельованою, це означає, що з'явився детермінований тренд і необхідно перейти до другого етапу. Для

узгодження трендів проводиться їх детальний аналіз та оцінюються ризики та збитки від їх повторення. Якщо ризики перевищують певний допустимий поріг, то виробляються превентивні заходи, які усувають чи мінімізують ймовірність появи у майбутньому цих подій. Таким чином, основним джерелом інформації для проактивного управління ризиками є процеси моніторингу та управління подіями, саме вони першими сповіщають про дива у станах промислового підприємства, які, ще не будучи інцидентами, можуть свідчити про наявність стохастичних чи детермінованих трендів та виникнення ризиків.

III. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Системний підхід до вирішення проблеми проактивного управління ризиками передбачає безперервний моніторинг (спостереження) у реальному часі за зміною значень показників, що характеризують стан промислового підприємства та товарного ринку, оцінку детермінованих трендів у їх розвитку та вироблення і реалізацію превентивних заходів, що узгоджують ці тренди..

Запровадження проактивного управління ризиками дає можливість прогнозувати майбутнє і досягати кращих результатів[1-5].

До переваг проактивного управління ризиками слід віднести те, що воно запобігає загрозам будь-якого характеру і проблемам або полегшує їх вирішення; покращує продуктивність, ефективність і якість кінцевого продукту.

Прийняття рішення про застосування превентивних заходів пов'язано з компонентами системної моделі управління ризиками (економічними, технічними, соціальними та політичними) [6].

Критичною фазою процесу проактивного управління ризиками є вибір оптимального рішення. Дана фаза починається з визначення рівня ризику, далі проводиться оцінка економічних витрат та альтернативних рішень для зниження ризику, а також розраховуються можливі економічні вигоди. Після цього приймається рішення про впровадження заходів щодо зменшення ризику або рішення про його подальший моніторинг.

Проактивне управління ризиками – це процес, який вимагає постійного моніторингу стану промислового підприємства та товарного ринку. Підприємство повинно встановити механізми моніторингу ризиків, щоб вчасно виявляти нові ризики, оцінювати ефективність застосованих стратегій та вносити зміни до стратегії управління ризиками, що дозволяє підприємству бути більш адаптивним, гнучким та ефективним в умовах невизначеності конкурентного ринка.

Впровадження стратегії проактивного управління ризиками позитивно впливає на ефективність функціонування підприємства за рахунок:

- Зменшення втрат: шляхом ідентифікації та аналізу ризиків підприємство може приймати превентивні

заходи для запобігання або зменшення втрат. Це може включати впровадження заходів безпеки, страхування, контролю процесів та інших заходів, що дозволяють уникнути або зменшити ризики, привести до зниження збитків та витрат, що сприяє підвищенню ефективності підприємства.

- Оптимізації ресурсів: управління ризиками допомагає виявляти критичні ризики та визначати пріоритети управлінських зусиль та ресурсів. Підприємство може сконцентрувати свої зусилля на управлінні найбільш значущими ризиками, тим самим оптимізуючи використання ресурсів та забезпечуючи більш ефективне виконання стратегічних цілей.
- Підвищення стійкості підприємства: управління ризиками сприяє створенню більш стійкої організації. Це означає, що підприємство стає більш готовим до впливу негативних подій або змін у зовнішньому середовищі. Шляхом розробки планів управління кризовими ситуаціями, запобігання втратам та швидкому відновленню діяльності, підприємство може зменшити негативний вплив ризиків та швидше відновити нормальну роботу.
- Підвищення конкурентоспроможності: ефективне управління ризиками дозволяє підприємству бути більш конкурентоспроможним на ринку. Здатність виявляти й управляти ризиками дозволяє підприємству швидше адаптуватися до змінних умов та негативних подій, забезпечуючи стабільність та довгострокову успішність.

У результаті застосування проактивного управління ризиками на промисловому підприємстві досягається не тільки підвищення ефективності його функціонування та мінімізація можливих негативних наслідків, але і підвищення стійкості підприємства на товарному ринку в довгостроковій перспективі за рахунок [7-14]:

- зменшення фінансових втрат;
- підвищення якості продукції;
- поліпшення безпеки;
- збільшення конкурентоспроможності;
- зниження правових ризиків;
- поліпшення репутації;
- оптимізації управління;
- зниження стресу для персоналу тощо.

Існує достатня кількість моделей проактивного управління ризиками, які використовуються на промислових підприємствах.

Вибір конкретної моделі проактивного управління ризиками залежить від цілого ряду факторів, включаючи характер ризиків, якими необхідно управляти, рівня їх невизначеності, доступності даних і ресурсів, а також переваг стратегії управління ризиками підприємства [15-19].

При виборі моделей проактивного управління ризиками на промисловому підприємстві необхідно враховувати ряд факторів: цілі й завдання підприємства, вид його

діяльності, розмір і тип підприємства, бюджет, компетенції й досвід співробітників тощо.

На даний момент існує нагальна потреба у створенні інструментальних засобів проактивного управління ризиками промислового підприємства у вигляді інформаційної платформи, яка може включати апаратне забезпечення, операційну систему, середовище розробки, бази даних, мережеві засоби, інструменти аналізу даних, а також інші компоненти, необхідні для побудови та ефективного функціонування проактивного управління ризиками підприємства.

IV. ВИСНОВКИ

Системний аналіз проблем проактивного управління ризиками промисловим підприємством показав:

1. Необхідною умовою використання проактивного управління ризиками промислового підприємства є організація безперервного моніторингу (спостереження) у реальному часі за зміною значень показників, що характеризують стан промислового підприємства та товарного ринку, і оцінка їх детермінованих трендів.

2. Процес проактивного управління ризиками промислового підприємства складається з двох етапів: аналіз детермінованих трендів розвитку промислового підприємства та товарного ринку; розробка і реалізація превентивних дій для їх узгодження.

3. Прийняття рішення про застосування превентивних заходів пов'язано з економічними, технічними, соціальними та політичними компонентами системної моделі управління ризиками.

4. У результаті застосування проактивного управління ризиками на промисловому підприємстві досягається не тільки підвищення ефективності його функціонування та мінімізація можливих негативних наслідків, але і підвищення стійкості підприємства на товарному ринку в довгостроковій перспективі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ільєнко, І. І., & Гречанюк, С. В. (2016). Управління ризиками на промислових підприємствах. Економіка та держава, 9, 73-77. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2016.9.73>
- [2] Методика управління ризиками в економічній діяльності / І. В. Пономарьов, В. М. Герус. - К.: КНЕУ, 2009. - 276 с.
- [3] Ризик-менеджмент у промислових компаніях: методи та практика / І. В. Пономарьов, В. М. Герус. - К.: НІСД, 2015. - 246 с.
- [4] Risk Management: Principles and Practices / Michael W. Elliott. - New York: CRC Press, 2014. - 382 p.
- [5] Сарана Л.А., Білан О.В., Бітюк І.М. Управління ризиками підприємства в сучасних умовах господарювання// проблеми системного підходу в економіці, –2021, № 2(82) – С.107-112.
- [6] Industrial Risk Management: An Engineering Approach / George J. Vachtsevanos, Frank L. Lewis, Michael Roemer. - Boca Raton: CRC Press, 2015. - 636 p.
- [7] Risk Management in the Oil and Gas Industry / Bilal M. Ayyub. - Boca Raton: CRC Press, 2010. - 256 p.
- [8] Risk Management Handbook for Health Care Organizations / American Society for Healthcare Risk Management. - San Francisco: Jossey-Bass, 2017. - 640 p.
- [9] Risk Management and Financial Institutions / John C. Hull. - Hoboken: Wiley, 2018. - 664 p.

- [10] Аналіз ризиків у промисловості на основі перспективних даних // С. Л. Гончар, Ю. В. Король, А. О. Дроздів // Міжнародний науково-технічний журнал "Проблеми техніки та технологій". - 2020. - Т. 10, № 3. - С. 129-136.
- [11] Ретроспективний підхід до оцінки ризиків на виробництві // О. В. Ткаченко, И. Н. Легкий // Інноваційні технології в машинобудуванні й металургії: матеріали Междунар. науч.-техн. конф. (г. Суми, 12-14 вересня 2018 г.). - Суми: Изд-У Сумгу, 2018. - С. 97-98.
- [12] Методичні підходи до оцінки ризиків нафтогазової галузі України - https://www.researchgate.net/publication/325944140_Methodychni_pidkhody_do_otsinky_ryzykiv_naftohazovoi_haluzi_Ukrainy
- [13] Ризик-менеджмент та методи його оцінки - http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?c21com=2&i21dbn=ujrn&p21dbn=ujrn&image_file_download=1&image_file_name=PDF/zdnvch_2015_5_5.pdf
- [14] Retrospective and Prospective Risk Assessment for Natural Hazards - https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19716-6_1
- [15] Красножон Г. В. Індустрія 4.0 як технологічний виклик для управління ризиками в промисловості // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти й газу. - 2018. - № 1. - С. 81-87.
- [16] Савчук Л. В. Мінімізація ризиків виробництва в умовах Industry 4.0 // Інтегровані технології та енергозбереження. - 2018. - № 3 (45). - С. 42-48.
- [17] Hoang, D., & La, H. (2018). Risk management in Industry 4.0: A cause-and-effect analysis method. *Journal of Risk Research*, 21(5), 582-602.
- [18] Alam, G. M., & Noor, A. M. (2020). Risk Management Framework for Industry 4.0: An Exploratory Study. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, 12(7), 487-497.
- [19] **SIZOVA N.**, Starkova O., Solodovnik G., Dolgova N. Development of a computer model for evaluating alternative investment and construction project options in the face of uncertainty and risk// Східно-Європейський журнал передових технологій, – 2019, 6/(3–102) – pp. 66-76.

Імплементация релевантных доменных знаний для покрашення ефективності задач класифікації у процесі видобування даних в контексті технологічного процесу буріння

Віталій Мельник

кафедра інженерії програмного забезпечення
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
vitalii.melnyk@nung.edu.ua

Лідія Гобир

кафедра інженерії програмного забезпечення
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
lidagobyr@gmail.com

Роман Петришин

кафедра інженерії програмного забезпечення
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
romeopetryshyn@gmail.com

Христина Думка

кафедра інженерії програмного забезпечення
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
dumkakristina@gmail.com

Implementation of relevant domain knowledge to improve the efficiency of classification tasks in data mining in the context of the drilling process

Vitaliy Melnyk

dept. of Software Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
vitalii.melnyk@nung.edu.ua

Lidia Hobyr

dept. of Software Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
lidagobyr@gmail.com

Roman Petryshyn

dept. of Software Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
romeopetryshyn@gmail.com

Khrystyna Dumka

dept. of Software Engineering
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
dumkakristina@gmail.com

Анотація—У дослідженні аналізуються питання імплементации релевантных доменно-специфичных знаний з точки зору абдуктивных техник як спосіб виконання на основі

дерев рішень для покращення результативності задач класифікації, використання обмеження цілісності та аналіз

специфікованих зовнішніх знань в абдуктивному фреймворку.

Abstract—The study analyzes the issues of implementing relevant domain-specific knowledge in terms of abductive techniques as a way of executing decision trees to improve the performance of classification tasks, using integrity constraints, and analyzing specified external knowledge in an abductive framework.

Ключові слова—абдуктивні міркування; абдуктивні фреймворки; дерево рішень; доменні знання; обмеження цілісності.

Keywords—*abductive reasoning; abductive frameworks; decision tree; domain knowledge; integrity constraints.*

I. ВСТУП

Задачі класифікації з точки зору абдуктивних технік можна розглядати як альтернативний процес, і водночас, як еквівалентний спосіб виконання класифікації на основі дерева рішень. При цьому слід відзначити, що абдуктивні міркування, які вимагаються в такому альтернативному представленні, є досить обмеженими і не використовують повною мірою потенціальну потужність абдуктивних міркувань у логічному програмуванні. Зокрема, виконання відповідних перетворень вимагає використання наперед визначених канонічних множин обмежень цілісності, в яких при побудові пояснень уникається включення відмінних значень для одного і того ж атрибуту [1].

II. ЗАТОСУВАННЯ МЕТОДУ ОБМЕЖЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ДЛЯ АБДУКТИВНОГО ФРЕЙМВОРКУ

Обмеження цілісності можуть бути використані для додавання знань, що стосуються значень різних атрибутів, включаючи ті, які не входять до початкового дерева рішень. Таким чином, ця особливість може допомогти покращити ефективність задач класифікації, оскільки обмеження цілісності можуть додавати знання, релевантні до атрибутів, що вже входять до дерева рішень, але не представлені в ньому явно.

В багатьох випадках дерева рішень можуть використовувати ймовірнісні вимірювання на рівні результату тестування пар «атрибут/значення». Іншими словами, кожна вітка дерева має мітку у вигляді значення, що відповідає атрибуту, який позначає батьківський вузол, а також мітку у вигляді ймовірнісного значення, що відображає імовірність того, що результат спостереження приписуватиме саме дане значення для заданого атрибуту. Такий вид імовірнісної інформації є корисним при класифікації нових екземплярів з відсутньою інформацією про атрибути. Навіть в цьому випадку в задачах класифікації додаткові доменні знання можна взяти до уваги для динамічного одержання кращих значень імовірності на можливих класифікаціях нових екземплярів (прикладів) із недостатньою специфікацією (відсутністю частини релевантної інформації) [2].

Проблема пошуку обмеження цілісності може бути вирішена шляхом інтерактивного аналізу певних асоціативних правил отриманих на основі апріорних

алгоритмів. Оскільки існує деяка збалансованість між негативними і позитивними значеннями певних атрибутів, отримані правила мають високі значення коефіцієнта довіри і коефіцієнта підтримки. Але для підвищення їх практичного застосування необхідно використовувати окремі метрики (наприклад, метрики «піднімання» та «впливу»). Отримані в результаті асоціативні правила дозволяють представляти фактичні залежності між атрибутами. Тестування результатів задач класифікації з використанням абдуктивного фреймворку, що починає свою функціональність з дерева рішень як теорії й асоціативних правил щодо обмежень цілісності, доводить здатність системи виводити значення коректного класу навіть, якщо не має відсутніх значень. Абдуктивний висновок з обмеженнями може розглядатися як спосіб інтерпретації для виконання відтинань у дереві рішень, хоча в ряді випадків абдуктивний висновок може бути більш потужним ніж відтинання. Основне завдання полягає в тому щоб продемонструвати шлях поєднання результаті алгоритмів класифікації у видобуванні даних. Він базується на дереві рішень з додатковими доменними знаннями, які походять з асоціативної моделі видобування даних і, відповідно, базуються на асоціативних правилах. Ці правила є цікавими з точки зору отримання вхідного потоку для абдуктивного середовища, що здатне класифікувати, а також специфікувати відповідні міркування, використані для побудови класифікацій (у тому числі при прогнозуванні відсутніх значень). В рамках такого підходу отримуються нові особливості, що представляються на рівні нової абдуктивної шеми, яка використовується в даному випадку, а саме:

- цілі є прийнятними,
- припущення виконується на різних рівнях специфікованості,
- надлишковість припущень повинна враховуватись (зокрема, при побудові доведень) [3].

Виконаний аналіз показує, що абдукція з вартісними коефіцієнтами є одним із кращих фреймворків, що задовольняє переліченим вимогам. Також щодо абдуктивного фреймворку, що базується на предикатній логіці, використаний в аналізі, вартісні значення (вагові значення), що асоціюються з кожним виводимим твердженням і правилами у початкових знаннях, що представляють асоційовані з ними міри невизначеності.

На рисунку 1.1 представлено кінцеву діаграму класифікаційної системи. Показано, що вхідний потік даних складають інстанції для класифікації і відповідний набір даних. Дерево рішень індукується з набору даних за допомогою алгоритму відповідного класу, а інстанції алгоритмів класу «Argioi» видобувають часті входження і відповідні асоціативні правила. Абсолютне значення підтримки частих входжень є параметром, що використовується для обчислення вартості їх абдукції (видобування) [4].

Таким чином, проєктований фреймворк базується на абдукції з вартісними (ваговими) коефіцієнтами, де кожен виведений елемент має асоційований з ним вартісний

(ваговий) коефіцієнт, який необхідно активувати при побудові припущення.

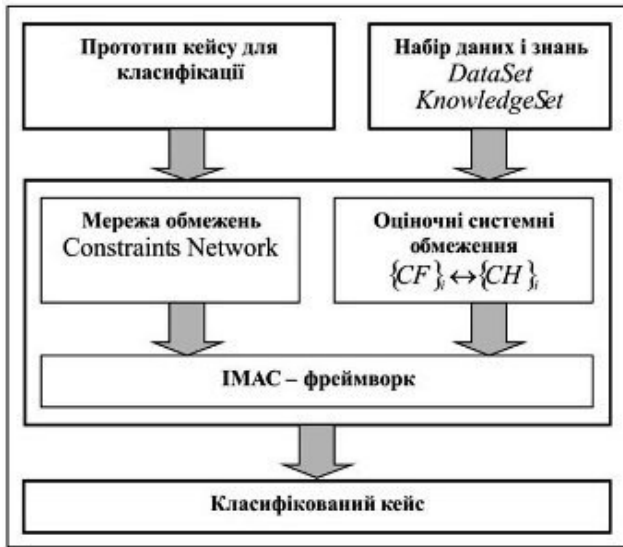


Рис.1 Абдукційно-класифікаційна схема виділення кейсів

В запропонованому підході правила також мають асоційоване значення вартості (ваговий коефіцієнт), яке необхідно бути активований, якщо правило використовується в процесі класифікації. Відповідно, кінцевим класом буде вважатися клас, що імплікується мінімальною вартістю (мінімальним сумарним ваговим коефіцієнтом) відповідного абдуктивного доведення. Необхідність розширення базового фреймворку шляхом включення вартісних (вагових) коефіцієнтів приймається на основі таких міркувань:

- потрібно введення кількісної міри для вибору серед відмінних можливих рішень (у тому числі абдуктивних доведень). Слід відмітити, що класифікація, побудована за даним підходом, може мати більше одного пояснення.
- в базі знань використовуються імовірнісна інформація для відкидання частини малоімовірних доведень [4].

В загальному, як показують дослідження в даній області, застосування абдуктивних технік покращує ефективність процедур та алгоритмів видобування даних в цілому. Такі реалізації класифікуються на верхньому рівні абдуктивного фреймворку з вартісними значеннями, що дозволяє відповідно видобувати й інтегрувати змістовні знання отримані з необроблених даних. Конкретний абдуктивний фреймворк здійснює конструювання нових абдуктивних теорій або обмежень цілісності як виду індукції засобами індуктивного логічного програмування при заданій початковій базі знань. В підході, що проектується доцільнішим є використання алгоритмів видобування даних на основі частих входжень наборів

елементів для виведення нових фактів зокрема, у формі раніше невідомих розширюваних знань (наприклад, за відсутності значень початкових даних). Такі виведені факти пізніше використовуються для покращення результатів попереднього видобування даних, наприклад, у задачі класифікації інстанцій [5].

Процедури, що використовуються для аналізу пошукового простору, є процедурами повного перебору в глибину з можливими відтинаннями, що виконуються шляхом використання базової структури обмеження цілісності. Іншим видом обмежень, що мають міститися в кожному здійсненому рішенні, є верифіковане виконання кроків обробки даних.

III. ВИСНОВКИ

Запропонована методика потребує специфікованих зовнішніх знань про домен, який використовується як обмеження цілісності в абдуктивному фреймворку. В даному дослідженні розглядаються доменні знання як правила, що є похідними від людини-експерта. Відмінним способом отримання правил в домені є їх виведення з вхідних даних. Використання асоціативних правил (так званих активних правил) є можливим і простим в абдуктивних фреймворках загального призначення та дозволяє побудувати повністю автоматизований абдуктивний фреймворк поєднанням двох найбільш важливих парадигм видобування даних, як парадигма класифікації на основі дерев рішень, а також парадигма асоціативних правил. Тому в якості окремої задачі можна виокремити побудову абдуктивних технік і методик видобування даних на основі асоціативних правил як обмежень цілісності шляхом використання наборів фактичних даних, в нашому випадку, даних технологічного процесу буріння.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Dai W.-Z., Xu Q., Yu Y., Zhou Z.-H. Bridging Machine Learning and Logical Reasoning by Abductive Learning. 33rd Conference on Neural Information Processing Systems (Vancouver, Canada, NeurIPS 2019). 2019. [Online]. Available: <https://openreview.net/forum?id=ryxA8NHeLB>. Accessed on: May 01, 2023.
- [2] Kakas A.C., Riguzzi F. Abductive concept learning. New Gener Comput. Vol. 18. P. 243-294. 2000. [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03037531>. Accessed on: May 01, 2023.
- [3] El-Alfy E.M., Abdel-Aal R.E. Construction and analysis of educational tests using abductive machine learning. Computers & Education. 2008. Volume 51. Issue 1. P. 1-16. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131507000218>.
- [4] Мельник В. Д. Абдуктивне виведення знань про процес буріння на основі мультимедійних даних про бурове обладнання. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 2016. №1(40). С.80-91.
- [5] Мельник В. Д. Формальна структура кейсів технологічних проблем в процесі побудови їх рішень на основі обмежень. Математичні машини та системи: науковий журнал Інституту проблем математичних машин та систем НАН України. №2. 2016. С. 116-127.

Метод Позитивно-Орієнтованого Дослідження з Доповненою Реальністю (AR) в Навчальній Діяльності Студентів

Ірина Мельник, Єлизавета Гашук
кафедра комп'ютерних наук
Київський університет імені Бориса Грінченка
Київ, Україна
iy.melnyk@kubg.edu.ua,
yvhashchuk.fitm22@kubg.edu.ua

Галина Нефьодова
кафедра математичного аналізу та теорії ймовірностей
Національний технічний університет України
“КПІ імені Ігоря Сікорського”
Київ, Україна
g.nefyodova@gmail.com

The Method of Positive-Oriented Research with Augmented Reality (AR) in the Educational Activities of Students

Iryna Melnyk, Yelyzaveta Hashchuk
dept. of Computer Sciences
Borys Grinchenko Kyiv University
Kyiv, Ukraine
iy.melnyk@kubg.edu.ua,
yvhashchuk.fitm22@kubg.edu.ua

Galyna Nefodova
dept. of Mathematical Analysis and Probability Theory
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
g.nefyodova@gmail.com

Анотація—Проводиться аналіз використання методу позитивно-орієнтованого дослідження та методів доповненої реальності (augmented reality, AR) в освітній діяльності. Розглянуто види доповненої реальності та приклади використання технологій доповненої реальності при забезпеченні освітнього процесу в сучасних умовах. Зазначені основні аспекти в формуванні компетентностей студентів з використанням представлених ресурсів. Наведені приклади використання спеціального програмного забезпечення для виконання поставлених задач. Надані висновки відносно розглянутої проблеми.

Abstract—Research is being conducted on the use of the method of positive-oriented research and the methods of augmented reality (augmented reality, AR) in educational activities. Practical examples of the use of reality technologies in modern conditions are considered. Types of augmented reality used in the modern educational process are considered. The main aspects in the formation of students' competencies using the presented resources are indicated. Examples of the use of special software for the performance of tasks are given. The conclusions of the problem studied in this article are given as well.

Ключові слова—рамки цифрової компетентності; доповнена реальність; метод позитивно-орієнтованого дослідження.

Keywords— digital competence framework; augmented reality; the method of positive-oriented research Appreciative Inquiry.

IV. ВСТУП

Актуальні дослідження, пов'язані з цифровою трансформацією освіти, стосуються неперервного впливу цифрових технологій на розвиток сучасного освітнього процесу та нових вимог до фахових компетентностей майбутніх фахівців. Міністерство цифрової трансформації України оприлюднило рамку цифрової компетентності для громадян, що є пріоритетним напрямком в освітньому просторі [1].

Цифрова трансформація освіти тісно пов'язана з фундаментальними змінами в суспільстві і передбачає необхідність виконання послідовності дій основних освітніх процесів, а саме розроблення стратегії цифрової трансформації кожного закладу освіти, повної цифровізації освітніх процесів, впровадження новітнього цифрового освітнього середовища, неперервного навчання усіх учасників освітнього процесу, захист напрацювань.

В умовах цифровізації простору навчання нагальною стає проблема постійного оновлення методів навчання та опанування сучасними цифровими інструментами. Фундаментом ефективності та якості сучасної вищої освіти є глибоке занурення як студентів, так і викладачів, у цифрове інформаційне середовище.

I. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні студенти не ділять навколишній світ на цифровий і реальний, пошук інформації у них займає мінімум часу, найактивніше спілкування відбувається в різних мережевих ресурсах. Зазначимо, що сучасне покоління проживає справжнє життя в Інтернеті, майже миттєво реагуючи на рух інформаційних потоків в соціальних мережах.

Використання методу позитивно-орієнтованого дослідження, методів штучного інтелекту, віртуальної реальності надає нові можливості в отриманні позитивних освітніх результатів. Такі підходи є мотивуючими для студентів, дозволяють слідкувати за особливостями набування фахових знань, впливають на покращення бажаних результатів у засвоєнні знань та навичок.

II. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Темою роботи є використання методу позитивно-орієнтованого дослідження з доповненою реальністю в навчальній діяльності студентів.

Дослідження проведено на основі робіт студентів-першокурсників, які вперше починають будувати свою освітню траєкторію. Під час проведення ознайомчих занять з дисципліни «Університетські студії», тобто вступ до спеціальності, широко використовується метод позитивно-орієнтованого дослідження Appreciative Inquiry (AI) [2]. Генеруються наступні типи запитань, що є основою першого етапу спільної роботи студентів у групах. Яку маєш думку відносно організації спільної роботи? Як удосконалити процес навчання? Результатом такої сумісної роботи є вирішення у майбутньому складних проблем та створення цікавих колективних ідей. В студентській групі, що формується, виникає довіра та повага один до одного, взаєморозуміння.

Метод позитивного дослідження 4D складається з чотирьох основних етапів, розглянемо їх на прикладі робіт студентів технічних спеціальностей Київського університету імені Бориса Грінченка з теми «Моє бачення майбутнього в сфері IT-технологій» або «Портрет IT-фахівця XXI сторіччя».

На першому етапі Discovery (the best of what is), відбувається екскурс в історичне минуле IT - галузі. Основним завданням етапу є формування фундаментальних знань та фахових компетентностей студента. При виконанні даного етапу використовується метод доповненої реальності. За допомогою сервісу Vliparr студенти створюють власні проекти. Застосовуються різні підходи: створення безмаркерної AR з ефектами руху та анімацією руху, маркерної AR, створення панорами, віртуального музею. Результат такої роботи представлено на рис.1. Основою першого етапу даного методу є можливість для студентів скласти власне бачення досліджуваного об'єкту пізнання, відбувається обмін думками та у разі потреби їх переоцінка. Це надає основу для подальшого навчання та формування наступних етапів освітнього процесу.

Другий етап Dream методу Appreciative Inquiry (AI) – це стадія мрій студентів (what could be). Використовуючи успішні ідеї, запозичені з першої стадії досліджень, студенти моделюють різні ситуації, уявляють свою

майбутню діяльність, аналізують бажані результати, прогнозують наступні кроки дослідження.

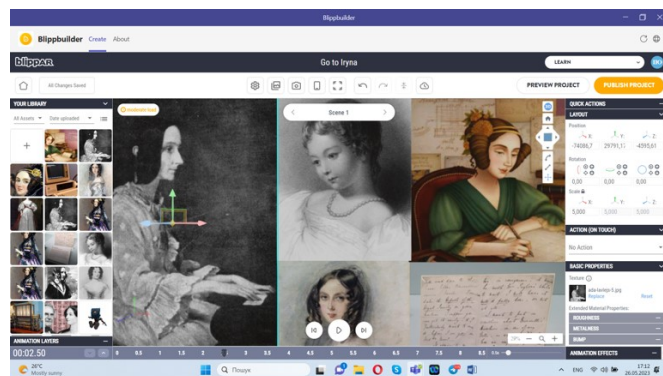


Рис.1 Дослідження «Історія створення комп'ютера» з використанням цифрового сервісу Vliparr

Третій етап дослідження Design (what should be), стосується проектування. Це стадія трансформування у конкретику бачення майбутнього, навколо нових ідей формуються команди студентів-однорідців.

Четвертим етапом методу є Destiny (what will be). На цьому етапі увага приділяється втіленню всіх попередніх стадій дослідження у реальні дії. Спільне проходження усіх чотирьох етапів методу позитивного дослідження 4D, тобто Discovery, Dream, Design та Destiny, направлено на згуртування студентів та створення злагодженої команди. Роботи виконуються за допомогою сервісів інфографіки та доповненої реальності.

Використання методу позитивного дослідження Appreciative Inquiry (AI) з доповненою реальністю тісно пов'язано з прагненням до змін та інновацій, надає можливість бути відкритими до засвоєння нових знань. Студенти рухаються у напрямку своїх власних мрій, бачать реальні результати, використовують відкрите спілкування. Це викликає бажання працювати та вчитися в команді задля реалізації спільних планів.

ВИСНОВКИ

Дослідження з допомогою методу 4D зумовлює студентів на необмежений пошук нових напрямків та рішень, кількісний та якісний склад команди пошуковців може при цьому змінюватись. Одночасно з візуалізацією таке дослідження передбачає імпровізацію та творчий підхід, посилює практичну складову освіти, стимулює самостійний пошук нової інформації. Це підвищує мотивацію до навчання та набуття інноваційних знань, розширює можливості інтерактивності освіти, веде до нових підходів в оцінці навчальних досягнень, поглиблює та розвиває пам'ять і просторові творчі здібності.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Digital Education Action Plan (2021-2027) [Online]. Available: https://ec.europa.eu/education/education-in-the-eu/digital-education-action-plan_en (date of access: 15.04.2023).
- [2] Frank J. Barrett and Ronald E. Fry "Appreciative Inquiry: A Positive Approach to Building Cooperative Capacity", published by The Taos Institute Publications, December 2005. 128 p.

Підхід до автоматизованого моніторингу стану сільськогосподарських рослин

Юлія Писаренко

лабораторія № 236 систем віртуального оточення для організації наукових досліджень
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
pisarenkojv@gmail.com

Іван Варава

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
ivan.varava@ukr.net

Тетяна Кравченко

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
t70000s@gmail.com

Ольга Гульчак

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
oolgagulchakk@gmail.com

Approach to automated monitoring of agricultural plants

Julia Pisarenko

lab. №236 of Virtual Environment Systems for the Organization of Scientific Research
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Ivan Varava

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
NTUU “Igor Sikorsky KPI”
Kyiv, Ukraine
ivan.varava@ukr.net

Tetyana Kravchenko

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
t70000s@gmail.com

Olga Gulchak

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
oolgagulchakk@gmail.com

Анотація—Авторами пропонується підхід до побудови системи автоматизованого моніторингу стану сільськогосподарських рослин, в якій користувач отримає з мобільного телефону прямо з поля доступ до корисної інформації по технологіях вирощування відповідної культури, зможе вести статистику по своєму господарству та одразу налагодити продаж своєї продукції потенційним покупцям.

Abstract—The authors propose an approach to building an automated monitoring system of agricultural plants, in which the

user will receive from a mobile phone directly from the field access to useful information on technologies for growing crops, be able to keep statistics on their farms and quickly sell their products to potential buyers.

Ключові слова—автоматизація; моніторинг; сільськогосподарські рослини; господарство у смартфоні

Keywords—automation; monitoring; agricultural plants; farm in a smartphone

I. ВСТУП

Більшу частину території України займає місцевість добре придатна для ведення сільського господарства. Багаті поживними речовинами чорноземи, численні канали та розвинені системи зрошування, люди, що вміють і люблять працювати, все – це само собою підштовхує до розвитку наш традиційно потужний агропромисловий комплекс. Україна з року в рік займає високі місця у рейтингах експортерів сільськогосподарської продукції і не дивно, що досягнення у сфері швидко зростаючого зараз ІТ-сектору поступово приходять у аграрну промисловість. Так створено низку агропорталів, що містять актуальну для фермерів інформацію, бізнес аналітику, кадастрові карти, інтерактивні карти пунктів прийому збіжжя, калькулятори можливого прибутку, ціни на сільськогосподарську продукцію, тощо. Не можна не помітити, що направлене це все, як завжди, на крупних гравців, на великі господарства, на фахівців-продажників, а малим фермерам, людям, що далекі від торгівлі і сучасних досягнень, залишається та сама роль, що і була раніше – продавати свою продукцію скупникам по тій ціні, що останні можуть запропонувати. А чи можливо ситуацію якось змінити? Чи можливо створити систему, що буде спрямована, в першу чергу, на малого фермера, що допоможе йому не тільки в продажу вирощеної продукції, а і знаннями, зв'язками, спростить для нього можливі фінансові підрахунки і при цьому залишиться простою та доступною, зручною для використання прямо з поля.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У нашій країні існують спеціалізовані заклади, що мають значні напрацювання у вирощуванні сільськогосподарських культур [1,2]. По основним культурам є чітко сформовані технології їх вирощування з огляду на конкретні ґрунти [3], розписані режими поливу, внесення добрив, проведення тих чи інших робіт, є різноманітні порівняльні аналізи. Логічно було б перш за все ці знання звести у якійсь сайт чи мобільний додаток, що дозволив би відповідному фахівцю, фермеру, чи можливо навіть дачнику зареєструватися у такому додатку, ввести туди необхідні дані по своїй ділянці чи ділянкам, вказати усю супутню інформацію та отримати на виході чіткий план вирощування культури, прогнози по врожаю, систему нагадування про ті чи інші необхідні дії, тощо. Тобто мова йде про додаток-помічник, додаток-щоденник по вирощуваній культурі на конкретному полі, де користувач вносить інформацію про це поле, культуру та проведені роботи, і отримує допомогу знаннями, результатами сучасних наукових напрацювань. Подібний додаток можна створити інтуїтивним та зручним для використання, складні речі можна приховати від кінцевого споживача за експертними системами, що самонавчаються. Якщо можна створити гру таку як «Акіатор», що дозволяє через низку питань вгадати будь-якого героя з існуючих реально або вигаданих, то явно можна створити і систему, що через перелік відповідних простих питань допоможе визначити тип ґрунту на полі користувача, наявність у ньому вологи та поживних речовин необхідних для вирощування конкретної культури. Тим більше, що як інформація для перевірки існують карти ґрунтів нашої держави, що зіставлено

фахівцями. Якщо карту опадів можна спостерігати у реальному часі на екрані численних мобільних додатків, то не проблема розрахувати і їх приблизний рівень для конкретної точки. На основі цієї інформації можна вже розрахувати оптимальний час поливу конкретних насаджень на конкретному полі. Маючи доступ до статистичних даних користувачів додатку, які стають при цьому «добровільними збирачами» інформації, можна підрахувати приблизний процент рослин, що загинуть, якщо не поливати рослини на цьому тижні, не зважаючи на спеку, а зробити це, наприклад, через 7 днів, коли буде час і буде вільна техніка, як допоможе внесення добрив, чи буде це виправдано.

Отже у додатку, що працює як щоденник по конкретному полю, можна вмістити інформацію, що буде корисна простій людині, що не закінчувала сільськогосподарських вузів і просто прагне заробити на своїй землі. Подібний додаток може містити системи планування та нагадування по роботах, що потрібно провести на полі, може підказати які добрива можна вносити на це конкретне поле під цю конкретну культуру, а які ні, які пестициди можна використовувати, що буде оптимально посадити на майбутній рік з огляду на статистику по цьому конкретному полю, на культури, що на ньому росли за останні роки, на добрива та пестициди, що на ньому використовувались. Подібний додаток може спрогнозувати потенційний врожай та його потенційні втрати у випадку недотримання технології. Подібний додаток може бути легким та інтуїтивним, може міститися на смартфоні, якими у наш час володіють навіть пенсіонери, користування ним може здійснюватися прямо з поля у кілька натиснень на відповідні клавіші. Розповсюдження такого додатку за умов хорошого опрацювання його наповнення і низької ціни (або навіть безкоштовного розповсюдження в рамках якоїсь державної програми підтримки малих фермерів) може бути швидким та охоплюючим велику кількість зацікавлених людей.

Якщо ж додати сюди статистичну інформацію по власній фермі, по витратах та доходах, по використанню техніки, її відстеження за допомогою GPS (з відповідною перевіркою витрат паливно-мастильних матеріалів і ідентифікацією даного постачальника статистичних даних у систему як більш надійного), систему розміщення прикріпленої прямо до карти реклами продавців товарів і послуг корисних конкретному фермеру, близьких до нього територіально, ну і, якщо додати сюди функціонал для заключення угод між фермерами та потенційними покупцями, то ми отримаємо систему, що здатна вивести наше сільське господарство на інший рівень. Якщо кожен буде мати доступ до сучасних наукових напрацювань, якщо можна буде зібрати статистичну інформацію по господарствам тисяч окремих фермерів, побачити і проаналізувати їх власні методики вирощування, якщо вся ця інформація буде інтерактивною, прив'язаною до карти, якщо потенційні покупці будуть бачити що і як вирощується поблизу від них, то виграють від цього безумовно усі. Постійний обмін знаннями, накопичення великих даних по сільськогосподарських культурах, спрощення торгівлі, де потенційний покупець бачить хто є поблизу від нього, може

легко підрахувати логістику, може сам знаходити фермера, минаючи посередників, не може не призвести до позитивних результатів. Наприклад, таких як збільшення врожайності за рахунок переходу на використання сучасних технологій, збільшення доходності фермерства за рахунок зменшення долі посередників, спрощення складності фермерської справи в очах людей і, як наслідок, збільшення її привабливості у суспільстві.

У рамках описаної ідеї авторами проводяться відповідні дослідження, розробляється технічне завдання на написання подібної системи. Її перше наближення можна побачити на рис. 1 і 2.

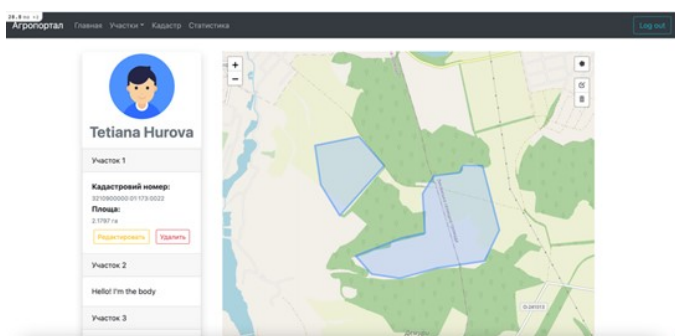


Рис. 5. Позначення ділянок на місцевості

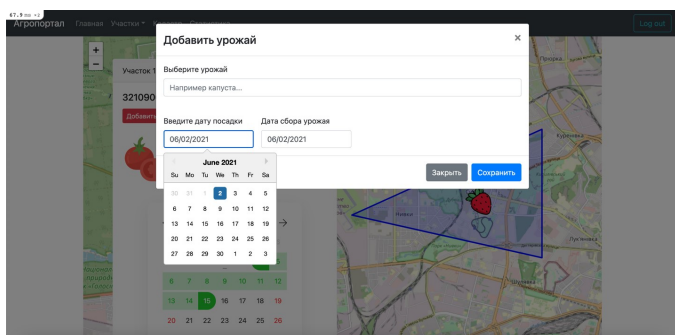


Рис. 6. Редагування інформації по ділянкам

III. ВИСНОВОК

Пропозиція авторів щодо автоматизації моніторингу стану сільськогосподарських рослин є досить масштабною і складною для впровадження, але це можливо, і ми вже давно працюємо над даними проблемами [4,5]. Це цікаво, це може заохотити людей і, насамперед, молодь, до пов'язування свого життя з аграрною справою, до вкладання грошей у

сільське господарство. Запропонована ідея скорочує відстань між сучасними напрацюваннями і конкретним фермером, між ним і потенційними покупцями.

Запропонований додаток буде мати модульний принцип і розширювані можливості для конкретного користувача, який може ним скористатись просто як інтерактивним записником і системою планування робіт, а може вести докладні записи. Передбачено створення наступних модулів та систем: інтерактивна мапа, до якої прив'язується уся інформація; інтерактивне поле, що користувач позначає на мапі, висаджує на ньому культуру та веде усю потрібну йому статистику; календар подій з функцією нагадування; система підрахунку опадів; система порівняння власної методики вирощування з еталоном та методиками інших користувачів; калькулятор витрат та доходів, статистика по ним; система відстеження сільськогосподарської техніки; система відбракування скомпрометованих даних; довідник по сучасним технологіям вирощування; система розміщення реклами товарів та послуг потрібних аграріям з прив'язкою до мапи; система заключення договорів між фермером та потенційним покупцем його продукції; логістичний калькулятор.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Український інститут експертизи сортів рослин. Офіційний сайт: <https://sops.gov.ua> Ukrainian Institute for Plant Variety Examination [Online]. Available: <https://sops.gov.ua>
- [2] Національний університет біоресурсів і природокористування України. Офіційний сайт: <https://nubip.edu.ua/>
- [3] National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine <https://nubip.edu.ua/>
- [4] Тогачинська О. В., Тимошук Т. М. «Оцінка технологій вирощування пшениці озимої за екологоагрохімічними показниками темно-сірого опідзоленого ґрунту», № 3, 2017, Вісник Полтавської державної аграрної академії.
- [5] Коваль О. С., Бойко А. Г., Писаренко В. Г., Писаренко Ю. В. «Технологія автоматизації процесу збору та передачі даних для експертизи сортів рослин на відмінність, однорідність та стабільність», 2020, Міжнародна науково-практична конференція інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (ITCM2020).
- [6] В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, О.С. Коваль, «Про розвиток автоматизованої інформаційної системи забезпечення експертизи сортів рослин з урахуванням вимог ЄС», Зб. наук. праць "Комп'ютерні засоби, мережі та системи", № 16, С. 132-138, 2017. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/131518>

Підходи до створення моделей пристроїв дистанційного моніторингу для оптимального природокористування

Юлія Писаренко

лабораторія № 236 систем віртуального оточення для
організації наукових досліджень
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
pisarenkojv@gmail.com

Ольга Гаврилюк

відділ № 265 математичних проблем прикладної
інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
jvpisarenko@ukr.net

Володимир Малачинський

відділ №265 математичних проблем прикладної
інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
vjmalachinskii@gmail.com

Сергій Іовов

відділ №265 математичних проблем прикладної
інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
t70000s@gmail.com

Approaches to creating models of remote monitoring devices for optimal use of nature

Julia Pisarenko

lab. №236 of Virtual Environment Systems for the
Organization of Scientific Research
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National
Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Olga Gavrylyuk

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied
Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National
Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
jvpisarenko@ukr.net

Volodymyr Malacinskii

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied
Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National
Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
vjmalachinskii@gmail.com

Sergij Iovov

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied
Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National
Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
t70000s@gmail.com

Анотація — Авторами пропонується підхід до створення моделей пристроїв для оптимального природокористування, де використовується дистанційний моніторинг показників техно-екологічної події (ТЕП), що передбачає отримання інформації з відкритих джерел. Візуалізація отриманих даних для подальшого аналізу і використання є важливою частиною інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» та пов'язана з її інформаційним сховищем.

Abstract — The authors propose an approach to creating devices models for optimal use of nature, which use remote monitoring of techno-ecological event (TEE) indicators, which involves obtaining information from open sources. Visualization of the received data for further analysis and use is an important part of the intelligent system «CONTROL_TEE» and is related to its information storage.

Ключові слова — автоматизація; моніторинг; візуалізація; показники; техно-екологічна подія; управління; смартфон.

Keywords — automation; monitoring; visualization; indexes; techno-ecological event; management; smartphone

I. ВСТУП

Вирішення актуального питання зменшення ступені участі людини в проведенні робіт в небезпечних техногенних зонах за рахунок дистанційного моніторингу показників безумовно в наш час буде досягатися шляхом застосування засобів інтелектуалізованої робототехніки та смартфонів. Інтелектуальна система «УПРАВЛІННЯ ТЕП» [1, 2], розробка якої – один з напрямів досліджень науковців відділу 265, призначена саме для вирішення цих завдань. виникнення техно-екологічних подій (ТЕП) істотно збільшилася. Зменшити ступінь участі людини при проведенні робіт в небезпечних умовах можна, використовуючи інтелектуалізовані робото-технічні системи. В Інституті кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України [1, 2] розроблено концепцію інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ ТЕП» та її основні компоненти. Для проведення більш ефективного моделювання необхідно розглядати об'єкт «зовнішнє середовище + зона впливу ТЕП + мобільний робот-розвідник + ситуаційний центр» як складну систему в сенсі системного аналізу. Для цього слід формувати відповідну багаторівневу блочно-ієрархічну систему математичних моделей різного рівня деталізації. Процес віртуального та фізичного моделювання руху мобільного роботу є багато ітераційним та потребує подальшого розвитку. Результати обчислень зберігаються у інформаційному сховищі, структуру якого розроблено в ході досліджень. Підходи до візуалізації отриманих даних для дальшого аналізу і використання є важливою частиною інформаційного сховища інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ ТЕП».

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розробка програми (Android та IOS застосунків) для надання користувачам інформації та вирішення інцидентів пов'язаних з аномальними явищами (пригодами), спричиненими антропогенними чи природними факторами.

III. РЕАЛІЗАЦІЯ

Ролі користувачів умовно поділяються на два види:

- інформатори;
- аналізатори;

Інформаторами є користувачі програми (туристи, місцеві жителі тощо), які виявивши подію, інформують інших користувачів, надаючи свою геопозицію та тип інциденту:

- лісова пожежа;
- повінь;
- зсуви;
- забруднення повітря/території/водойми;
- вирубка лісів;
- схід лавини;
- лісопад.

Аналізатори, які мають доступ до адміністративної панелі, можуть здійснювати такі дії:

- передача інциденту відповідним службам (лісники, територіальна громада, МНС, тощо) ;
- підтвердження/видалення інциденту заявленого користувачем-інформатором;
- після усунення інциденту інформувати про це користувачів-інформаторів.

Статуси інцидентів:

- не підтверджено. Створюється користувачем-інформатором, доступним для бачення як інформаторам, так і аналізаторам;
- підтверджено. Цей інцидент дійсно існує і буде перенаправлений відповідним службам для вирішення;
- вирішений. Відповідні служби усунули аномалію/інцидент.

Кожен інцидент відображається у додатку користувача у вигляді мітки з геопозицією на гугл мапі.

- іконка мітки має своє зображення і залежить від типу інциденту;
- мітка має різний колір щодо статусу інциденту.

IV. СТРУКТУРА ТА ОПИС ПРОЕКТУ

Проект включає в себе фронтенд, бекенд і інтеграцію з АПІ третьої сторони (google api) і має наступні компоненти (рис. 1):

- мобільний додаток Android та IOS, написаний за допомогою платформи Flutter на мові програмування Dart;
- для пошуку місцевості на мапі додаток використовує API Google Maps - places;
- реєстрація, авторизація і підтримка сесії користувача відбувається за допомогою USER сервісу;
- за передачу додатку збережених міток користувачів і створення нових інцидентів відповідає DATA сервіс що записує дані від користувача в базу даних PostgreSQL.

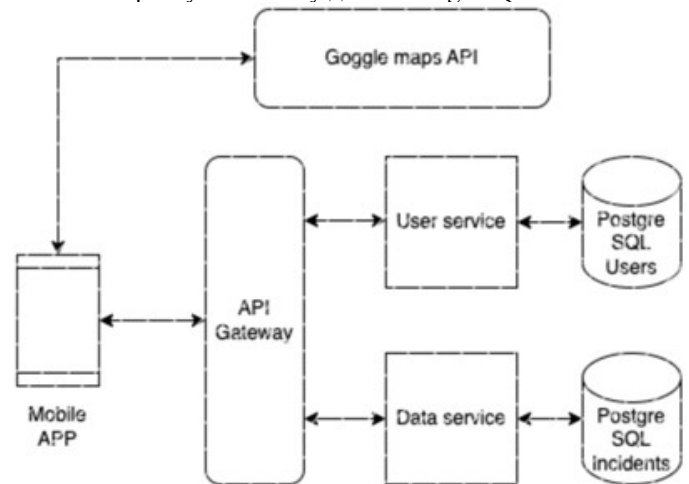


Рис. 7. Структура проекту.

Архітектура додатку була розроблена спираючись на розділення UI від бізнес логіки і слою даних, використовуючи управління станом BLOC і Cubit (для відслідковування підключення до інтернету).

Доступ до геолокації і поточне місцезнаходження користувача. Якщо на пристрої в системних налаштуваннях включена опція доступу до місцезнаходження, на екрані відобразиться поточне місцезнаходження (з синім округлим індикатором в центрі екрану). В іншому випадку відобразиться системне діалогове вікно з запитом включення на пристрої відповідної служби для відслідковування геолокації.

Пошук місцевості з використанням Google API

Для пошуку місцевості по імені використовується метод гугл апі в якості параметра додаток передає текст з пошукового рядка.

'[https://maps.googleapis.com/maps/api/place/autocomplete/json?input=\\$searchInput&types=\\$types&key=\\$key](https://maps.googleapis.com/maps/api/place/autocomplete/json?input=$searchInput&types=$types&key=$key)'.

У відповідь повертається масив всіх допустимих варіантів місцевості для вибору. Кожен об'єкт масиву містить опис (назви) місцевості, що відображається у додатку, а також її ідентифікатор, що передається у наступний запит для отримання координат:

'[https://maps.googleapis.com/maps/api/place/details/json?place_id=\\$placeId&key=\\$key](https://maps.googleapis.com/maps/api/place/details/json?place_id=$placeId&key=$key)'.

По отриманих координатах відбувається перехід користувача додатку на обрану місцевість на мапі.

Встановлення місця інциденту на мапі у вигляді мітки. Використовуючи знаходження місцевості по поточній геолокації чи через пошук, користувач може обрати на карті конкретне місце інциденту за допомогою встановлення мітки.

Встановлення мітки відбувається при натисканні користувачем на область карти. При цьому на екрані з'являється відповідний індикатор, а додаток зберігає координати місцевості і унікальний ідентифікатор мітки, необхідний для її подальшого відображення користувачу.

При натисненні на кнопку “Зберегти” користувач переходить на новий екран для опису інциденту. Якщо користувач не вибравши мітку натисне на дану кнопку - перехід на слідуючий екран не відбудеться і відобразиться діалогове вікно з текстом “Торкніться місця на карті, щоб поставити мітку”.

Екран опису інциденту. Цей екран розділяється на декілька частин:

- мапа у верхній частині екрану з встановленою міткою інциденту;
- текстове поле для опису інциденту;
- список типів інцидентів для вибору;
- кнопка відправлення даних про інцидент.

Заповнивши текстове поле “Опис” і вибравши тип інциденту, користувач може відправити дані на сервер натиснувши кнопку “Відправити”. При цьому з додатку виконається HTTP запит на сервіс DATA з записом інцидента до бази даних. Тіло запиту буде містити наступні дані:

Назва поля	Тип поля	Пояснення
------------	----------	-----------

description	String	опис інциденту, що вводиться в текстове поле
lat	Number	широта
lon	Number	довгота
markerId	String	унікальний ідентифікатор мітки
status	String	статус інцидента. По замовчуванням status="notconfirmed" (вказує на те, що факт інциденту поки не підтверджений)
time	Number	час відправлення запиту у форматі Unix Time Stamp
type	String	тип інциденту

Приклад тіла запиту у форматі JSON:

```
{
  "description": "Опис інциденту",
  "lat": 48.52841538316641,
  "lon": 25.036395080387592,
  "markerId": 234896572526736528,
  "status": "notconfirmed",
  "time": 1661201865031,
  "type": "burning",
}
```

У разі успішного виконання запиту і збереження даних в базу даних від сервера надійде відповідь з успішним статусом кодом (200) і тілом:

```
{
  "status": "OK"
}
```

і користувачу відобразиться екран з інформуванням про те, що його заявка прийнята.

В іншому випадку, коли сервер не може відпрацювати запит чи надіслані дані являються некоректним повертається відповідь з 500 статусом кодом (помилка на стороні сервера) і тілом:

```
{
  "status": "FAILURE"
}
```

і користувачу відобразиться екран про те що сталася помилка.

Також на обох екранах знизу від інформації про статус запита користувача розташована кнопка “На головну”, при натисканні на яку відбувається перехід на екран мапи з усіма мітками інцидентів поблизу користувача.

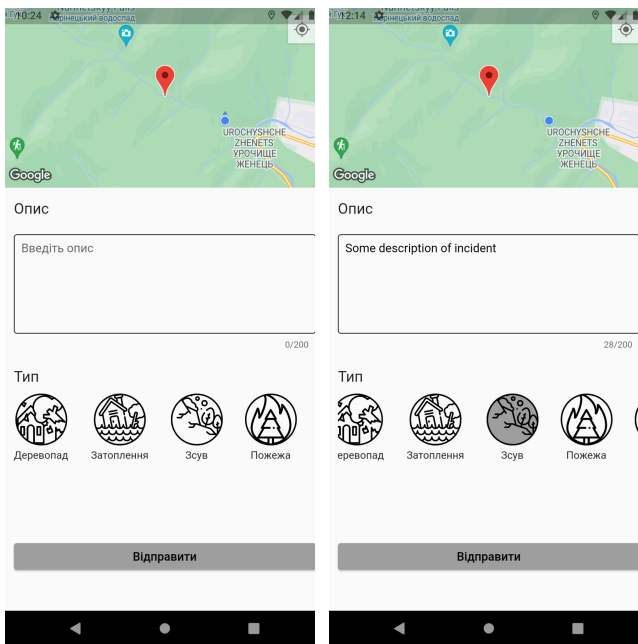


Рис. 8. Початковий стан екрану і екран з заповненим описом і вибраним типом інциденту

Екран завантаження (Splash screen). Цей екран в додатку відображається користувачу на старті додатку. Час життя екрану залежить від того як швидко завантажуються ресурси (провайдери, асети, роути) необхідні для подальшої роботи програми.

Мапа з мітками інцидентів. Екран з мітками інцидентів являє собою відображення місцевості на google maps з встановленими мітками, що відповідають координатам наявних інцидентів.

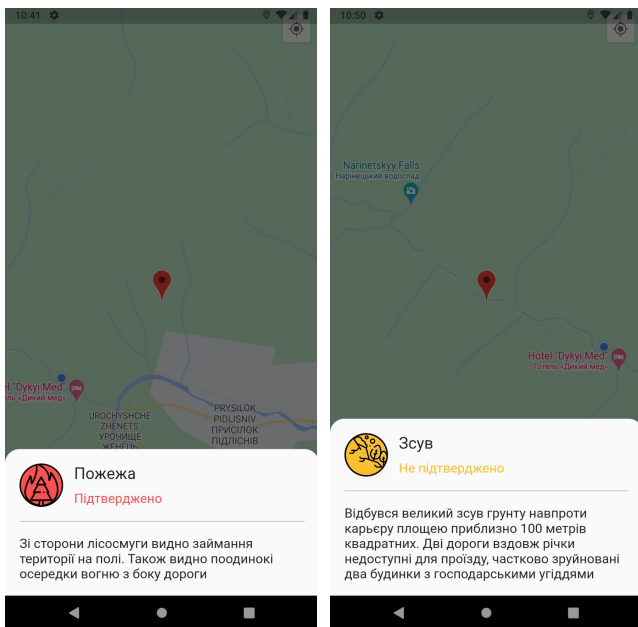


Рис. 9. Екрани з відображенням деталей інцидентів при натисненні на мітку

Мітки на екрані завантажуються з сервісу DATA при переході на екран, і постійно оновлюють свою актуальність після змін (редагування поточних міток і додавання нових).

Колір піктограми і статус відображається відповідно до значення поля “status”, яке для кожної мітки вертається у відповіді від сервера:

Значення поля status	Колір піктограми	Текстовий статус інцидента
notconfirmed	yellow	Не підтверджено
confirmed	red	Підтверджено
solved	green	Вирішено

Зображення на піктограмі, що описує тип інциденту залежить від значення поля “type”, яке приходить у тілі відповіді з сервера.

V. ВИСНОВОК

Пропозиція авторів щодо автоматизації моніторингу стану техно-екологічних подій є досить масштабною і складною для впровадження, але це можливо, і ми вже давно працюємо над створенням концепції по вирішенню даної проблеми [1, 2, 3]. Це цікаво, це може захопити людей і, насамперед, молодь, до пов'язування свого життя з справою приборкувачів надзвичайних ситуацій, до вкладання грошей державою у безпечне природокористування. Запропонована ідея скорочує відстань між сучасними напрацюваннями і безпекою громадян від конкретної техно-екологічної події.

Запропонований додаток буде мати модульний принцип і розширювані можливості для конкретного користувача, який може ним скористатись просто як системою сповіщення і інтерактивним записником робіт і, а може вести докладні записи.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В. Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Часть 1 // УСИМ. – Киев. – 2005. – №4. – С. 8-18.
- [2] Pisarenko J., Melkumyan E. The Structure of the Information Storage «CONTROL_TEA» for UAV Applications // 2019 IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD-2019 Proceedings. – 2019. – P. 274 - 277. DOI: 10.1109/APUAVD47061.2019.8943938.
- [3] Ю. Писаренко, В. Малачинський. Візуалізація даних інформаційного сховища за допомогою чат-ботів // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (ІТКМ-2021)» (05 – 10 липня 2021 року Івано-Франківськ – Микуличин), с. 27-29.

Приклад застосування регіональних ситуаційних центрів інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» з використанням БПЛА

Валерій Писаренко

відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
olga-gulchak@ukr.net

Олександр Крячок

відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
alexandrkiachok@gmail.com

Юлія Писаренко

лабораторія № 236 систем віртуального оточення для організації наукових досліджень
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
pisarenkojv@gmail.com

Олександр Коваль

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України,
НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
t70000s@gmail.com

An example of the application of regional situational centers of the intelligent system "CONTROL_TEE" using UAVs

Valery Pisarenko

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
olga-gulchak@ukr.net

Oleksandr Kryachok

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
NTUU "Igor Sikorsky KPI"
Kyiv, Ukraine
alexandrkiachok@gmail.com

Julia Pisarenko

lab. №236 of Virtual Environment Systems for the Organization of Scientific Research
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Oleksandr Koval

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
NTUU "Igor Sikorsky KPI"
Kyiv, Ukraine
t70000s@gmail.com

Анотація — У цій статті було проведено аналіз можливих проблем, що стоять при створенні та впровадженні системи

регіональних ситуаційних центрів (РСЦ) для здійснення ефективного контролю над БПЛА в рамках «розумного міста», здійснення підтримки їх роботи, вирішення за їх

допомогою цілої низки завдань, що стоять перед містом, державою та бізнесом.

Abstract — In this article, an analysis of the possible problems faced by the creation and implementation of a system of regional situation centers (RSCs) for the effective control of UAVs within the framework of the "smart city", the implementation of support for their work, and the solution of a whole series of tasks with their help before the city, state and business.

Ключові слова — автоматизація; програмне забезпечення; БПЛА, «розумне місто», регіональні ситуаційні центри (РСЦ), управління.

Keywords — automation; software; UAV, "smart city", regional situation centers (RSCs), management.

I. ВСТУП

Світ майбутнього – це світ, в якому нові елементи інформаційних технологій, що розробляються нині, знайдуть своє гармонійне, зручне і оптимальне застосування. А це означає, що з часом сучасні безпілотні літальні апарати (БПЛА), інтелектуальні технології дослідження навколишнього нас світу, засновані на використанні нейронних мереж, вийдуть на принципово новий рівень. Безпілотні автомобілі, БПЛА, що перевозять товари та людей, всілякі автоматичні доставники, роботи-поліцейські, прибиральники, і не тільки стаціонарні, але і рухливі контролери, що забезпечують моніторинг тих чи інших проблем, стану навколишнього середовища, погоди, роботи-гуманоїди, роботи-тварини і тому подібні новачки можуть цілком стати нашою буденністю. Як це все контролювати, враховуючи інтереси конкретного приватного власника безпілотної машини, «розумного міста» та держави загалом? Хоча б на прикладі простих БПЛА, які вже зараз нерідко використовуються в протиправних цілях (доставка наркотичних речовин, контрабанда, вибухові пристрої з дистанційним підривом, шпигування за кимось, збір конфіденційної інформації і, навіть, банальна крадіжка за наявності певних технічних можливостей, інтегрованих у пристрій). Таким чином, актуальним стає питання: як коректно і швидко збирати конфіденційну інформацію, необхідну для реагування на техно-екологічні події, які в межах «розумного міста» все ж неминуче будуть траплятися?

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Автори цього дослідження входять до складу групи вчених Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України та Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», яка бере участь у розробці концепції та компонентів інтелектуальної системи «УПРАВЛІННЯ ТЕП» для розвідки та знешкодження небезпечних техно-екологічних подій (ТЕП) [1-5]. Зокрема, ними раніше було запропоновано систему регіональних ситуаційних центрів (РСЦ), що у ідеалі під керівництвом центрального ситуаційного центру (ЦСЦ) створена керувати рухом БПЛА у межах «розумного міста» [1-5]. Дане дослідження покликане конкретизувати роботу РСЦ, описати можливі проблеми, які неминуче стануть при створенні та впровадженні такої системи, намітити шляхи

їх вирішення та подати базовий прототип такої системи з погляду кінцевого користувача.

III. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Що ж має БПЛА передавати до РСЦ? Можливості РСЦ не обмежуються простим контролем за польотами БПЛА, у перспективі це база для створення різноманітних розумних безпілотних доставок, систем пошуку чогось, моніторингу стану рослин, контролю стану міських комунікацій, допомоги бізнесу, правоохоронцям, місту та державі загалом. Причому в перспективі це буде робота в автономному режимі, наприклад, з бездротовою підзарядкою на відповідній станції, або з автономним вибором маршруту до неї, з відвантаженням доставленого товару до мобільного поштового терміналу на кшталт тих, що нині активно встановлюють різні поштові компанії прямо біля під'їздів багатоквартирних будинків. у супермаркетах. Адаже це вже зараз цілком реалізовано - циліндричний автомат з підйомником і камерами зберігання по колу, на його даху посадкове місце з радіомаячком. У найближчій перспективі швидкі безпілотні доставники почнуть стукати прямо у вікно передаючи безпосередньо в руки замовнику пакет з посилкою, коробку з піцою, покупки, зібрані «тільки що» в супермаркеті біля будинку (зі швидкістю, недоступною звичайній доставці). За умови здійснення контролю за технічним станом у сторонній фірмі, завдання власника БПЛА в такому разі зводяться до простого споглядання у себе на моніторі або на екрані смартфона того, як ця безпілотно помічниця працює і як впевнено зростає прибуток від цієї праці.

Інформацію, що передається в РСЦ, пропонується розділити на два типи: інформація для стеження та спеціальна, потенційно конфіденційна інформація.

Інформація для стеження це:

– свої координати БПЛА, що передаються на запит або по черзі через певні проміжки часу. Точний маршрут, виконаний БПЛА та поточково передано в РСЦ;

– показання основних бортових приладів, встановлених на БПЛА – альтиметр, акселерометр, гіроскоп прив'язаних до координат. Тобто на якій висоті був, куди був повернутий і як рухався в кожній точці;

– показання рівня заряду батареї та швидкість його витрати в кожній точці маршруту. Або аналогічна інформація, за якою можна судити про час перебування БПЛА у повітрі, здійснювати прогнозування (причому в ідеалі щодо кожного конкретного БПЛА та з урахуванням його маршруту);

– вектор зйомки всіх камер, встановлених на БПЛА (на випадок, якщо вони поворотні, якщо їх встановлено кілька);

– потокове відео та фото з камер. Через проміжки часу/за запитом/безперервно;

– аналогічна інформація щодо запису звуку;

– інформація про роботу маніпулятора БПЛА або системи автономного навантаження/розвантаження;

– інформація про використання тих чи інших додаткових модулів, встановлених на конкретному БПЛА;

– інформація про те, що в даний момент доступно користувачеві, що він бачить, якщо БПЛА летить не в автоматичному режимі, а під його управлінням;

– інформація про команди, які дає користувач, коли БПЛА летить під його керуванням;

– загальна інформація про політ (час початку, тип руху, тип місії, пункт призначення, хто власник, ідентифікатор БПЛА у системі тощо).

За умови проведення авторизованої сертифікації БПЛА в РСЦ, безпосередньої перевірки чи отримання технічної інформації про БПЛА від виробника можна отримати випадок, за якого в РСЦ є вичерпна інформація про БПЛА (де він знаходиться, що робить у повітрі і навіщо це потрібно). При цьому точність позиціонування може знаходитись у сантиметровому діапазоні. Володіючи такою інформацією, цілком можна створити алгоритми для відстеження позаштатної (підозрілої) поведінки і одразу в автоматичному режимі фіксувати порушення, отримуючи їх докази прямо з борту безпілотної.

До спеціальної інформації тоді можна віднести показання тих чи інших модулів, які встановлені на конкретних БПЛА і не використовуються для стеження (наприклад, аналізатора загазованості, тепловізора, термометру, інших датчиків і приладів). Збір подібної інформації, ймовірно, має регулюватися угодами між РСЦ та власником БПЛА. Слід зазначити, що можуть бути випадки, коли передача, наприклад, зображення та звуку з камери безпілотної може бути небажаною або незаконною, наприклад, при польоті в рамках квартири конкретної людини, зони, закріпленої над її земельною ділянкою, у цехах якогось виробництва, у місцях завантаження/розвантаження пошти тощо.

Що ж тоді РСЦ може передати БПЛА? РСЦ – це засіб контролю, це також засіб допомоги у виникненні тих чи інших позаштатних ситуацій, це обчислювальні потужності, не обмежені вагою, який може підняти у повітря конкретний літальний апарат. Звідси випливає, що РСЦ має передавати:

– поточну карту повітряних трас і зон над містом на запит;

– оптимальний маршрут польоту повітряними трасами (конкретні координати, швидкісні обмеження тощо);

– інформацію в динаміці про наявність поблизу інших БПЛА, швидкість та вектори їх руху;

– інформація про можливе зіткнення та команду/рекомендацію як розминутися;

– команда на перехоплення управління і власне команди цього управління (причому можливо з урахуванням того, як людина раніше керувала цим конкретним БПЛА, з якоюсь оптимальною стратегією управління для цієї моделі. Дані, що передаються з БПЛА в РДЦ, якраз дозволяють таку стратегію виробити);

– різні текстові, аудіо, фото, відео повідомлення для випадку, коли БПЛА управляється людиною. Причому з можливістю передачі координат тривимірних об'єктів у просторі для створення ефекту доповненої реальності;

– фото та потокове відео, що пройшло постобробку для заміни того, що показують камери БПЛА (маскування/цензурування – наприклад, заглядаєш у вікна і бачиш там розмиту картинку);

– коригуючу інформацію про політ (наприклад, уточнення координат на основі експрес-аналізу картинки з камер);

– Загальну інформацію про політ, БПЛА, погоду тощо.

Оптимальним способом здійснення зв'язку між РСЦ та БПЛА, при цьому, зважаючи на все, є зв'язок через інтернет. Мобільний інтернет доступний, активно розвивається, не вимагає побудови якоїсь спеціалізованої інфраструктури, легко інтегрується з пультом управління БПЛА, ну, і «місто майбутнього», безперечно, добре буде таким забезпеченим. При цьому виникає питання оформлення підключення БПЛА до інтернету, чи здійснюватиметься він через традиційні джерела, чи буде спеціальною послугою, що надається РСЦ. Зрозуміло, що для того, щоб БПЛА використовувалися в рамках закону, а їх рух був максимально безпечним і безаварійним, зацікавлена держава, і така дрібниця як купівля трафіку у компаній, що забезпечують мобільний зв'язок, цілком може входити у вартість сертифікації БПЛА, абонентської плати, так само як і модуль мобільного зв'язку на борту БПЛА або у його пульті управління. Тим більше, що таке рішення дозволяє значно підвищити безпеку та заодно вирішити проблеми, пов'язані з автентифікацією БПЛА та запобіганням фальсифікації даних. До того ж, так можна використовувати вже готові рішення.

Проблема розбиття повітряного простору над містом дискутується, існує низка підходів до її вирішення, до безпосередньої побудови повітряних трас. Автори даного дослідження вважають, що доступний для польотів БПЛА простір над містом має відповідати наступним принципам:

– простір ділиться на зони за принципом «шаруватого пирога» та деталізується з часом;

– польотні зони безперервно удосконалюються з метою досягнення оптимального результату – розподілу повітряного простору так, щоб забезпечити безпечний рух БПЛА з максимальною швидкістю;

– можлива динамічна зміна конфігурації повітряних трас під конкретну подію чи завдання;

– повітряні траси проходять умовними «трубами» по можливості над наземними трасами і починаються над ними на мінімально допустимій висоті;

– між потоками в обидві сторони проходять безпечні зони або просто витримується певна відстань. А під цими потоками центр дороги і водночас місце, куди за можливості можна падати у разі відмови, обираючи при цьому по можливості просвіт між автомобілями;

– смуги повітряної траси будуються швидше «вгору», ніж «вшир», система легко масштабується, розростається;

– траси в ідеалі будуються так, щоб мінімізувати перетинання і втрату швидкості руху, щоб вхід у потік був оптимальним і з напрямку, в якому іншим БПЛА простіше розрізнити дрібну перешкоду, що наближається, наприклад, знизу (рис. 1);

– простір над важливими об'єктами, урядовими будинками тощо. деталізується (зона, де не можна літати за жодних умов, зона обмеження швидкості, маневрів, конкретних БПЛА, які можуть туди залітати);

– статичні об'єкти – це така сама частина карти;

– спрощення обмежень при наборі висоти для легких апаратів;

– якщо люди беруть участь у русі по повітряній трасі як пілоти, то по можливості на окремій, максимально плоскій трасі.

Також була розроблена версія інтерфейсу програми для роботи з РСЦ його співробітника, який проводить сертифікацію БПЛА, і в першому наближенні даної системи вручну будує повітряні траси і т.п.

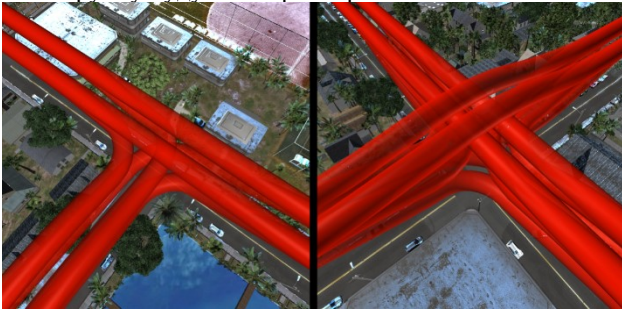


Рис. 10. Можливі «повітряні перехрестя» із входами в поворот «знизу».

IV. ВИСНОВОК

У цій статті було проведено аналіз можливих проблем, що стоять при створенні та впровадженні системи РСЦ для здійснення ефективного контролю над БПЛА в рамках «розумного міста», здійснення підтримки їх роботи, вирішення за допомогою цілої низки завдань, що стоять перед «розумним містом», державою та бізнесом.

Наукова новизна: було описано можливі шляхи вирішення цих проблем, описано інформацію, якою доведеться оперувати, конкретизовано загальне бачення підходів до їх вирішення. У ході імітаційного моделювання було розроблено більш оптимальний метод підбору БПЛА під конкретне завдання, складено прототип додатку, який повинен побачити кінцевий користувач у себе на екрані. Причому як на стороні клієнта, який реєструє в ситуаційному центрі свій БПЛА, що здійснює нагляд за ним, бачачи розгорнуту історію польотів, статистику тощо, так і на стороні цього ситуаційного центру, де співробітники здійснюють ефективне управління, будують повітряні траси, проводять сертифікацію БПЛА, здійснюють підтримку користувачів тощо.

Практичне значення: отримані результати дозволяють впевнено говорити про необхідність подальшого розвитку даної системи, подальших наукових досліджень та виходу на створення та тестування повнофункціонального прототипу хоча б на частині цивільних безпілотників. Актуальність систем стеження за БПЛА та управління ними неухильно зростає з розвитком технологій і роботу більш розвинутих БПЛА завжди можна буде пов'язати зі створеним прототипом РСЦ.

Перспективи наступних досліджень: полягають у переведенні описаної системи в практичну площину з вирішенням різних концептуальних і технічних проблем, що при цьому виникають.

Аналізуючи результати проведеного дослідження, можна з упевненістю сказати, що розробка системи регіональних ситуаційних центрів є настільки актуальним, настільки ж складним і комплексним завданням. На шляху до побудови подібної системи лежить ціла низка серйозних проблем технічного і концептуального характеру, вирішення яких вимагає не тільки точного опрацювання, а й експериментального підтвердження, детального прототипування, всебічного вивчення потреб усіх користувачів системи з подальшою реалізацією їх на кінцевому етапі у вигляді зручного застосування, яким буде комфортно користуватися як власникам БПЛА, так і працівникам РСЦ. Це застосування, як і вся система, має значний потенціал і від простого відстеження руху БПЛА з обмеженням їхнього протиправного використання, з побудовою маршрутів руху та доступних для польотів зон надалі цілком може бути розширено до реалізації ідей, які закладалися в систему РДЦ [2, 4, 5].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Писаренко В.Г., Писаренко Ю.В. Вопросы виртуального проектирования систем, ориентированных на создание интеллектуализированных роботов для мониторинга экстремальных состояний техносферы. Часть 1 // УСИМ. – Киев. – 2005. – №4. – С. 8-18.
Pisarenko V.G., Pisarenko J.V. Issues of virtual design of systems focused on the creation of intellectualized robots for monitoring extreme states of the technosphere. Part 1// USIM. – Kiev.- 2005. -№4. – P. 8-18.
- [2] Pisarenko J., Melkumyan E. The Structure of the Information Storage «CONTROL_TEA» for UAV Applications // 2019 IEEE 5th International Conference «Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD-2019 Proceedings. – 2019. – P. 274 - 277. DOI: [10.1109/APUAVD47061.2019.8943938](https://doi.org/10.1109/APUAVD47061.2019.8943938).
- [3] Ю. Писаренко, В. Малачинський. Візуалізація даних інформаційного сховища за допомогою чат-ботів // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання (ІТКМ-2021)» (05 – 10 липня 2021 року Івано-Франківськ – Микуличин), с. 27-29. J. Pysarenko, V. Malachinskii. Visualization of information storage data using chatbots // Abstracts of the International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Computer Modeling (ITCM-2021)" (July 5-10, 2021, Ivano-Frankivsk - Mykulychyn), P. 27-29
- [4] Melkumian K., Pisarenko J., Koval A. Organization of Regional Situational Centers of the Intelligent System «CONTROL_TEA» using UAVs // 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development, APUAVD-2021 Proceedings, 2021, P. 37-40.
- [5] Писаренко Ю., Мелкумян К., Варавя І., Коваль О., Чумакова Н. Про організацію регіональних ситуаційних центрів інтелектуальної системи «Управління_ТЕП» з використанням БПЛА // Штучний інтелект. - № 93. – Київ. - 2022. - С. 155-167.
Pisarenko J., Melkumyan K., Varava I., Koval O., Chumakova N. About the organization of regional situational centers of the intelligent system "CONTROL_TEE" using UAV // Artificial Intelligence. - No. 93. – Kyiv. - 2022. – P. 155-167.

Агропортал для ведення обліку станів посівів у малому фермерському господарстві

Юлія Писаренко

лабораторія № 236 систем віртуального оточення для організації наукових досліджень
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України.
Київ, Україна
pisarenkojv@gmail.com

Надія Чумакова

відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
nadigorinet@gmail.com

Євген Рево

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
olga-gulchak@ukr.net

Володимир Красношопка

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
jvpisarenko@ukr.net

Agroportal for automating the process of keeping records of the crops state in a farm

Julia Pisarenko

lab. №236 of Virtual Environment Systems for the Organization of Scientific Research
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Nadiya Chumakova

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
nadigorinet@gmail.com

Yevgen Revo

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
olga-gulchak@ukr.net

Volodymyr Krasnoshapka

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
jvpisarenko@ukr.net

Анотація— Авторами розглянуто проблему автоматизації ведення господарства у малому фермерському господарстві за допомогою сучасних технологій, в тому числі створення для цього програмного забезпечення. Описано розроблений агропортал для відслідковування стану посівів з можливістю додавати власні ділянки, вносити інформацію про висаджені на них культури, додавати цілі по поливу, слідкувати за станом обробки полів за допомогою існуючої техніки, отримувати повідомлення про збір врожаю та його продаж зі складу.

Abstract— The authors considered the problem of management automation in a small farm with the help of modern

technologies, including the creation of software for this purpose. The developed agroportal for tracking the crops state is described, with the ability to add your own plots, enter information about the crops planted on them, add goals for irrigation, monitor the state of fields cultivation with the help of existing equipment, receive notifications about harvesting and its sale from the warehouse.

Ключові слова — автоматизація; програмне забезпечення; мобільний застосунок, фермерське господарство, моніторинг посівів.

Keywords— automation; software; mobile application, farming, crop monitoring.

I. ВСТУП

Цифрові технології розвиваються з космічною швидкістю, проникаючи в усі сфери людського життя, автоматизуючи процеси, спрощуючи задачі, економлячи людям час на більш цікаві і корисні речі. Так і ведення бізнесу за допомогою сучасних технологій значно спрощує життя, однак не всі сфери однаково швидко встигають за сучасним темпом життя.

Агроіндустрія – одна зі сфер, яка має потужну автоматизацію на рівні великих корпорацій, які монополізують ринок збуту. Для звичайних фермерів це виявляється трохи важче – мати такі системи при відносно невеликих обсягах виробництва. В агроіндустрії наразі існуючі рішення зводяться до порталів з корисними статтями та окремо існує набір інструментів для відслідковування техніки, пошуку ділянок (Публічна Кадастрова Карта України), ведення бухгалтерії та продажу врожаїв. Відомі такі портали для підприємців у сфері сільського господарства, як Landlord, сайт «Agroportal» [1], це інформаційні ресурси, тут журналісти пишуть про правила прибуткового бізнесу, історії успіху, огляди і рейтинги агробізнесу. Landlord публікує аналітику і рекомендації, що впливають на розвиток агробізнесу. Новини зазвичай структуровані за категоріями агросфери (рослинництво, тваринництва, трейдинг, кейси і т.д.). Відома платформа ProAgro. основною рисою якої є аналітика аграрних ринків товару, консультаційні послуги, розробка досліджень та бізнес-планів для початку бізнесу, проведення конференцій. Окремо є провайдери, які надають свої послуги з сфери ведення бізнесу - наприклад надають доступ до систем супутникового моніторингу сільськогосподарської техніки. Але дані в основному транслюються або ж в платний додаток, що надається постачальником послуг, або ж в табличному вигляді.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Отже, представлені на ринку сайти та ресурси ведення сільськогосподарської фермерами, несуть інформативний, новинний характер, служать скоріше для самоосвіти, ніж для підтримки бізнесу. Або це може бути портал, який надає системи для моніторингу, але такі послуги коштують дорого.

Авторами була поставлена мета: розробити зручний, простий, доступний для користування нефахівцями з ІТ-технологій агропортал, як мобільний застосунок, який у складі загальної системи автоматизації ведення обліку господарства дозволить фермерам управляти своєю фермою з телефону - або ж не відходячи від ноутбука. Цей агропортал призначений для того, щоб спростити життя співробітникам агроіндустрії, налагодити процеси, дати можливість фермерам бачити картину в цілому в рамках їх господарств, розуміти, що саме варто покращувати для досягнення поставлених цілей.

Окрім цього він повинен давати можливість бачити стан господарства в реальному часі, навіть з іншого міста чи країни – тобто робить працівників аграрного сектору більш мобільними. Достатньо встановити додаток на комп'ютер або мобільний телефон, зареєструватись, ввести необхідні

дані, що стосуються господарства. Крім того цей ресурс призначений давати можливість додавання власних ділянок, інтеграції Кадастрової карти України; додавання посівів на ділянки, даних про власну техніку; реалізує можливість трекінгу власної техніки; відслідковування стану посівів; цілей по поливу; переглядання новин агросектору, надання статистики витрат і заробітку, що дає можливість вести зручний достатньо спрощений бухгалтерський облік.

III. СКЛАДОВІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ СІЛЬГОПОБЛІКУ

- 1) мобільний застосунок – агропортал, що забезпечує користувачу слідкування в режимі онлайн за наявним станом свого господарства, інтерактивний і доступний, його можна використовувати на різних пристроях;
- 2) розроблене програмне забезпечення для мобільного застосунка;
- 3) бібліотека «Адаптивність» забезпечує здатність сайту однаково відображатись на різних пристроях – починаючи з персонального ПК, та закінчуючи телефоном;
- 4) алгоритм роботи системи ведення обліку, зручний інтерфейс призначений для користувача-нефахівця ІТ – технологій, також дотримано стандартів доступності додатку для людей з обмеженими можливостями.

На рис.1,2 наведено деякі знімки екрану програмного продукту.

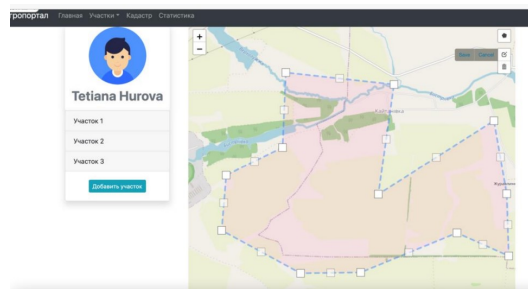


Рис. 1 Редагування існуючої ділянки.

IV. ПОБУДОВА АГРОПОРТАЛУ ТА АЛГОРИТМ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Для розробки програмного забезпечення був обраний наступний стек технологій - MVC Framework Ruby on Rails для серверної частини, React для клієнтської частини, база даних PostgreSQL, крім цього так як в даному проєкті була потрібна робота з картою - після аналізу ринку вибір припав на бібліотеку React Leaflet. Серверна частина додатку Ruby on Rails - це відомий серверний фреймворк. Він написаний на мові програмування Ruby. Ruby - об'єктно-орієнтована, динамічна, рефлексивна інтерпретуєма високорівнева мова програмування. Клієнтська частина веб-застосунку була створена за допомогою React. React - JavaScript-бібліотека для роботи з користувача інтерфейсами (UI). Авторизація та автентифікація у додатку реалізована на основі JWT токена. Веб-токен JWT являє собою стандартизований, в деяких випадках підписаний і зашифрований формат упаковки даних, який використовується для безпечної передачі інформації між двома сторонами.

Адаптивність - це здатність сайту однаково відображатись на різних пристроях – починаючи з персонального ПК, та закінчуючи телефоном. Одним з важливих вимог – було зробити агропортал адаптивним і доступним на різних пристроях, щоб дати можливість перевіряти стан своїх посівів будь з якого місця та в будь який проміжок часу. Це було досягнуто за допомогою використання бібліотеки.

Для відображення ділянок на карті використовуються полігони. Це додатковий векторний шар, який задається за допомогою масиву з координатами - широта і довгота кожної точки, які разом збираються в фігуру. Для того, щоб динамічно додавати та редагувати ділянки – була використана бібліотека react-leaflet-draw. Вона дозволяє додавати та редагувати шари на карті, зберігаючи їх в стейт компонента.

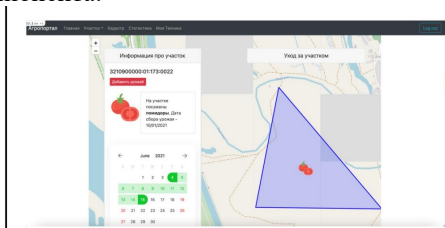


Рис.2 Сторінка ділянки з статистикою тв врожаєм.

Для того, щоб отримати доступ до порталу – треба спершу зареєструватися. Після цього можна зайти у свій акаунт. Проект запускається локально на 3000 порту . На головній сторінці знаходяться статті. Їх можна додавати, редагувати та видаляти. Для того, щоб передивитись власні ділянки – треба перейти на вкладку з ділянками. Тут є можливість редагувати ділянки, видаляти їх та додавати нові. При створенні нової є опція додавання координати вручну, або ж відмітити координати на карті. Кількість точок координат для створення меж ділянки додається динамічно – тобто, щоб позначити ділянку на карті потрібно мінімум три точки. Є можливість збільшити і зменшити кількість полів в процесі додавання. На поточний момент розміри ділянки вносяться вручну – надалі можна реалізувати обчислення площі в залежності від її кордонів. На її сторінці (див. рис.2) ми бачимо її межі на карті, в разі, якщо ділянка засіяна - поточну культуру, календар з датами - посадки і попередньо дату збору врожаю, на самій карті посаджена культура відображається іконкою. Нижче ми можемо поставити собі за мету дані з поливу та удобрення ділянки і дивитися на графіку - чи виконуємо ми поставлений план. Коли урожай поспіває – ми можемо забрати його на склад та додати – скільки само кілограмів

врожаю ми зібрали. Можна редагувати чи видалити свій врожай зі складу. Склад можна знайти у меню – Склад. Щоб побачити свою техніку – треба перейти до в пункт меню – ‘Моя техніка’. Тут її можна відправити працювати – при натисканні кнопки “Запуск”, та бачити де саме на цей самий момент знаходиться техніка. Дані зберігаються в базу даних та можуть бути використані для побудови статистики. Щоб побачити публічну кадастрову карту України [2] – треба перейти в розділ Кадастр з головного меню. На цій карті можна шукати ділянки по кадастровому номеру, дивитись їх призначення та площу. В публічній кадастровій карті можна знайти інформацію про кадастровий номер земельної ділянки, її межі, площу, форму власності, цільове призначення, згідно із класифікатором

V. ВИСНОВОК

Отже вперше було запропоновано системний підхід до проблеми забезпечення безперервного, в режимі онлайн, нагляду за приватним фермерським господарством шляхом використання простого для користувача, не фахівця ІТ-технологій, інтерактивного мобільного агропорталу. При цьому урахуються всі потреби реального фермерського сектора сільського господарства з можливістю розширення функцій шляхом додавання самим користувачем необхідних йому інформаційних матеріалів, функцій, тощо.

Фермер, незалежно від розміру його господарства має можливість мобільно спостерігати за перебігом процесів вирощування культур на його ділянках, планувати всі необхідні сільськогосподарські заходи. Достовірний, прозорий та в зручному вигляді облік ведення господарства дає впевненість у своїх рішеннях стосовно бізнесу. В цьому полягає соціальний та техніко-економічний ефект розробки.

На підставі створеного агропорталу було розроблено технологію автоматизації ведення приватного малого фермерського господарства, яка буда зареєстрована в УкрІНТЕІ та отримала державний реєстраційний номер 0622U000062 [3].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] С.М. Дідук, А.М. Корікова. Сталий розвиток агропромислових холдингів України: особливості та напрямки вдосконалення. «Агросвіт», №3, 2020. DOI: 10.32702/2306\$6792.2020.3.90
- [2] Кадастрова карта України [Електронний ресурс] Режим доступу до ресурсу: https://map.land.gov.ua/?cc=3461340.1719504707,6177585.367221659&z=6.5&l=kadastr&bl=ortho10k_all
- [3] Технологія автоматизації процесу ведення обліку стану посівів у фермерському господарстві. УкрІНТЕІ, держ. реєстраційний номер 0622U000062. УкрІНТЕІ | Технології ONLINE (ukrintei.ua)

Про веб-застосунок для планування подорожей

Андрій Костельний
кафедра інформаційних технологій
Національний лісотехнічний університет України
Львів, Україна
andriikostelnyi@nltu.lviv.ua

Наталія Процах
кафедра інформаційних технологій
Національний лісотехнічний університет України
Львів, Україна
protsakh@nltu.edu.ua

On the Web-Application for Travel Planning

Andriy Kostelnyi
dept. of Information Technologies
Ukrainian National Forestry University
Lviv, Ukraine
andriikostelnyi@nltu.lviv.ua

Nataliia Protsakh
dept. of Information Technologies
Ukrainian National Forestry University
Lviv, Ukraine
protsakh@nltu.edu.ua

Анотація— поєднавши технології React, Chakra UI та TypeScript створено інтерактивну та зручну платформу, яка допоможе легко та ефективно організувати подорож.

Abstract— by combining React, Chakra UI and TypeScript technologies, an interactive and convenient platform has been created that will help you to organize your trip easily and efficiently.

Ключові слова— React, Chakra UI, TypeScript, фреймворк, бібліотека, тунізація, безпека, масштабованість, продуктивність

Keywords— React, Chakra UI, TypeScript, framework, library, typing, security, scalability, performance

I. ВСТУП

У сучасному світі подорожі стали невід'ємною частиною нашого життя. Ми завжди мріємо про нові пригоди, відкриття незвіданих країв та унікальні враження. Однак планування подорожі може бути складним завданням, яке потребує часу та ресурсів. Хіба не було б чудово, якби у нас був зручний інструмент, який допоможе нам у цьому процесі?

Існує декілька типів веб-застосунків для планування подорожей. Ось декілька прикладів:

- туристичні портали: надають широкий спектр інформації про місця для відвідування, рекомендації, відгуки та можливості бронювання послуг; прикладом такого сайту є TripAdvisor;
- маршрутні планувальники: дозволяють користувачам створювати та налаштовувати свої власні маршрути, вказуючи місця для відвідування,

прокладаючи оптимальний маршрут та додавати замітки; прикладом такого сайту є Roadtrippers;

- соціальні мережі для подорожей: дозволяють користувачам ділитися своїми подорожами, фотографіями та рекомендаціями з іншими користувачами; прикладом такого сайту є Polarsteps;
- бронювання житла: спеціалізуються на бронюванні готелів, апартаментів, хостелів та інших варіантів проживання; прикладом такого сайту є Booking.com;
- подорожні блоги: дозволяють мандрівникам писати свої власні блоги, ділитися історіями та порадами з іншими; прикладом такого сайту є Travel Blog.

Багато з цих веб-застосунків потребують постійного доступу до Інтернету для користування. Це може бути проблемою, коли ви у зоні з поганим зв'язком. Але кожен з цих типів сайтів має свої особливості та спрямований на задоволення певних потреб користувачів.

Метою нашої роботи була розробка веб-сайту для планування подорожей, який використовує технології React, Chakra UI та TypeScript для реалізації інтерактивного та зручного інтерфейсу, що дозволяє користувачам вибирати та налаштовувати свої тури зручним та ефективним способом.

II. АРХІТЕКТУРА ПРОЕКТУ

Для розроблення застосунку використано: Vite - інструмент для розробки веб-додатків, який використовує модульний підхід (він є альтернативою до Webpack або Parcel, надає швидкий час перезавантаження, що сприяє продуктивності розробників); React — бібліотеку

JavaScript з відкритим вихідним кодом для створення інтерфейсів користувача, яка надає можливість компонентного підходу, віртуальний DOM; реактивність [1], [2]; TypeScript – мову програмування, яка надає можливість створювати надійні, масштабовані та підтримувані веб-застосунки; Firebase — інтегровану платформу від Google, яка надає набір інструментів і сервісів для створення веб-додатків.

Для даного проекту використано Feature-Sliced Design (FSD) — підхід до організації коду в програмному проекті, спрямований на покращення модульності, розширюваності та зрозумілості кодової бази. Основна ідея полягає в тому, щоб розділити функціональні можливості програми на невеликі модулі, які називаються “фічами”, і кожен модуль зосереджується на реалізації певного функціонального аспекту.

Основні принципи FSD:

- Розділення функціональних можливостей: програма розділена на менші модулі або функції, кожна з яких відповідає за певний аспект програми; наприклад, сайт для подорожей може мати такі функції, як «аутентифікація користувача», «пошук та фільтрація подорожей», «каталог подорожей» тощо; кожна функція має власну внутрішню структуру, яка дозволяє відокремити її функціональність;
- Орієнтованість на компоненти: кожна “фіча” складається з компонентів, які представляють візуальні або логічні елементи функціональності. Компоненти мають бути незалежними від інших функцій та компонентів. Це полегшує повторне використання та розширення компонентів у межах фічі та в інших частинах програми.
- Єдина точка входу: кожна фіча має єдину точку входу або інтерфейс, через який вона взаємодіє з іншими частинами програми. Це може бути API, роутер, події чи інші механізми зв’язку. Така модульна організація дозволяє підтримувати чіткість і обмежувати залежності між функціями.
- Тестування: FSD допомагає покращити тестування, оскільки кожен “фічу” можна перевірити окремо. Це дозволяє швидше виявляти та виправляти помилки та забезпечує більшу стабільність системи.
- Розширюваність: за допомогою FSD легше розширити функціональність програми. Можна додавати нові функції та змінювати або покращувати існуючі, не впливаючи на інші частини коду.

Feature-Sliced Design дозволяє розробникам легше керувати складними проектами, покращує читабельність коду, полегшує повторне використання компонентів і розширює функціональність. Цей підхід особливо

корисний для великих і масштабних проектів, де модульність і розширюваність є важливими аспектами дизайну.

РЕЗУЛЬТАТИ

Створено веб-застосунок, який дозволяє виконувати такі операції:

- Реєстрація та автентифікація користувачів: надання можливості реєстрації нових користувачів і входу для існуючих користувачів за допомогою автентифікації;
- Вибір і налаштування поїздок: можливість для користувачів вибирати подорожі, додавати примітки та коментарі до них;
- Мобільна сумісність: розробка адаптивного дизайну, щоб сайт був доступним і зручним для користувачів на різних пристроях, включаючи мобільні;
- Безпека даних: забезпечення безпеки персональних даних користувача за допомогою заходів безпеки відповідно до відповідних правових вимог;
- Зберегти фотографії подорожей: дозволяє користувачам зберігати фотографії, зроблені під час подорожей. Користувачі повинні мати можливість завантажувати, зберігати та переглядати свої фотографії в програмі;
- Редагувати дані профілю: дозволяє користувачам редагувати особисті дані, зокрема ім’я, контактну інформацію та іншу інформацію. Користувачі повинні мати можливість легко оновлювати та налаштовувати свій профіль у програмі;
- Історія подорожей: дозволяє користувачам переглядати свою історію подорожей, включаючи раніше відвідані місця, дати та час подорожей;
- Залишити відгук: користувачі повинні мати можливість залишати відгуки про програму чи послугу. Відгуки можуть містити текстові коментарі, оцінки, пропозиції щодо покращення або інші додаткові елементи. Користувачі повинні мати зручний спосіб додавати відгуки та можливість переглядати відгуки інших користувачів. Розробник або адміністратор повинен мати можливість переглядати та аналізувати відгуки, щоб зрозуміти потреби користувачів і вжити заходів для покращення продукту.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [6] S. Stefanov. “React: Up & Running”, 1st Edition, 2016, pp. 222
- [7] J. Larsen. “React Hooks in Action: With Suspense and Concurrent Mode” - 2021. – pp. 376 .

Про веб-застосунок для автоматизованого розподілу навчального навантаження викладачів

Олександр Адамовський
кафедра інформаційних технологій
Національний лісотехнічний університет України
Львів, Україна
o.adamovskyi@nltu.lviv.ua

Наталія Процах
кафедра інформаційних технологій
Національний лісотехнічний університет України
Львів, Україна
protsakh@nltu.edu.ua

On Web-Application for Distributing Educational Workload of Teachers

Oleksandr Adamovskyi
dept. of Information Technologies
Ukrainian National Forestry University
Lviv, Ukraine
o.adamovskyi@nltu.lviv.ua

Nataliia Protsakh
dept. of Information Technologies
Ukrainian National Forestry University
Lviv, Ukraine
protsakh@nltu.edu.ua

Анотація— за допомогою CRM системи Salesforce, створено застосунок, який спрощує розподіл навчального навантаження між викладачами і покращує загальну ефективність та продуктивність освітнього процесу.

Abstract— with the help of the Salesforce CRM system, an application that simplifies the distribution of the educational load between teachers and improves the overall efficiency and productivity of the educational process was created

Ключові слова — веб-компоненти; salesforce; автомати-зація; навчальний план; оперування даними; додаток

Keywords — web components; Salesforce; automation; curriculum; data manipulation; application

I. ВСТУП

Незважаючи на величезний прогрес інформаційних технологій у наш час, багато університетів до сих пір мають величезний оборот паперового обліку даних, що є недосконалим у плані зручності заповнення, пошуку та зберігання даних, а також це призводить до зайвих витрат часу, втрати даних, помилок і незручностей для студентів і адміністраторів. Тому необхідність переходу до автоматизованих систем, які дозволять ефективніше керувати даними та процесами, лише питання часу. Автоматизація процесів за допомогою Salesforce дозволить замінити ручну роботу електронними формами, системами баз даних та інтегрованими додатками, які будуть зручними, точними та ефективними.

Salesforce пропонує комплексний підхід до автоматизації навчання за допомогою єдиної платформи, яка об'єднує різні елементи управління навчанням. Це дозволяє обмінюватися даними легко та безперешкодно між різними функціональними областями та забезпечує єдину точку доступу для користувачів.

В даній роботі створено веб-компоненти із використанням наданих Salesforce інструментів, а саме Framework – LWC (Lightning Web Components) для зменшення об'єму часу, що на початку кожного року витрачається на заповнення відомостей та їх підтвердження на основі затверджених навчальних планів. Особливу важливість це набуває, коли кафедра має компетентність підтримувати широкий спектр спеціальностей, що призводить до рутинного та монотонного процесу заповнення однакових бланків, які, якби не хотілось, можуть призводити до приросту обсягу роботи через людський фактор, котрий буде зумовлено реакцією мозку на одноманітну роботу, згідно результатів досліджень. Як наприклад дослідження, опубліковане в журналі «Work & Stress»^[1], показало, що робота, яка є монотонною та нудною, може призвести до зниження когнітивних функцій, таких як пам'ять і увага.

II. ПРОЕКТУВАННЯ ДОДАТКУ

Процес розподілення навчально навантаження можна охарактеризувати наступними пунктами:

- Аналіз навчального плану; збір необхідних даних (інформація про викладачів, графік занять, аудиторії);

- Створення шаблонів відомостей, які відповідають навчальному плану та структурі кафедри; заповнення інформації на підставі зібраних даних;
- Перевірка та підтвердження даних відповідальними особами кафедри;
- Розповсюдження відомостей через електронні системи, друковані матеріали або інші канали комунікації.

Запропоновано потенційну архітектуру програмного продукту як клієнт-серверну, а засоби реалізації даної архітектури на основі Salesforce SaaS, а його кастомізацію через Force.com PaaS разом з Lightning Framework [2], що включає в себе такі засоби розробки як Apex, JavaScript, SOQL, Process Automation: Flow, App Builder (xml).

Дата модель має такий вигляд:

- *Навчальний План (Curriculum)* – об’єкт у системі до якого посилатимуться решта об’єктів для отримання необхідних даних, щоб сформувати відомості; при створенні прийматиме інформацію щодо року, спеціальності, кафедри; *Кафедра (Department)* – містить назву та відповідний інститут
- *Освітня компонента (Educational Component)* – за допомогою lookup(зовнішнього ключа) буде пов’язана із Навчальним Планом та Кафедрою, що відповідає за цю дисципліну, а також міститиме інформацію, про код та назву дисципліни, форма оцінювання(екзамен, залік тощо.), загальна кількість виділених кредитів ECTS, а також розподілення їх часового еквівалента між лекціями, практичним, лабораторними та самостійними роботами
- *Account* – використовуватиметься в межах даного додатка в ролі інституту. *Спеціальність (Speciality)* – Містить назву та кафедру. *Contact* – містить інформацію про інститут, особисті дані, кафедру та компетенції
- *Data And Ed. Component Assignments* – використовується для створення багато-до-багатох зв’язків між різними об’єктами. виступатиме як проміжна точка між Освітніми компонентами та Відомостями. *Відомість (Data)* – містить інформацію про групу, для якої запис було створено, і семестр.

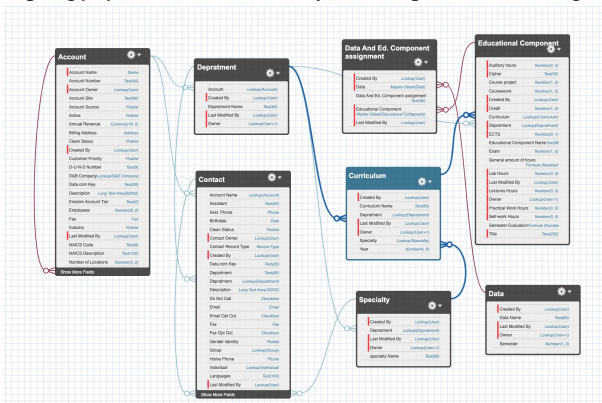


Рис. 11. Діаграма взаємозв’язку між об’єктами, яка згенерована Schema Builder, що є інструментом Salesforce в межах моєї організації

Дизайн Record Page полегшить взаємодію користувачів з системою.

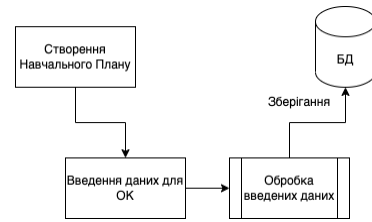


Рис. 1. Дизайн Record Page

Реалізовано алгоритм: за кількістю студентів створено N груп; Зберігання у базу даних; Створення запису об’єкту відомостей(Data), що міститимуть назву групи, для якої ця відомість створена, та семестр; Створення Data_And_Ed_Component_assignment об’єкту,

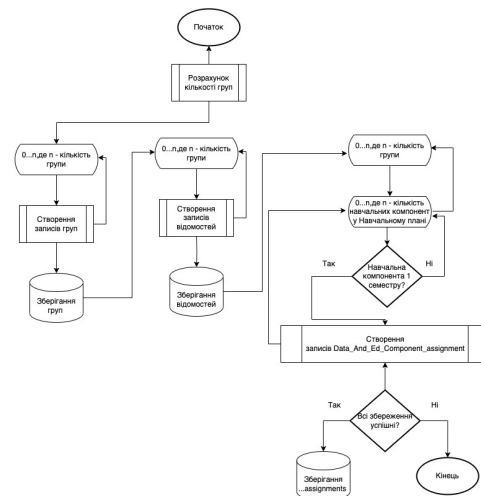


Рис. 2. Візуальна репрезентація алгоритму розподілення освітніх компонент до відповідних відомостей

III. РЕЗУЛЬТАТИ

У процесі проектування додатку реалізовано такі цілі:

- Розібрано питання та процеси при розподілі навчального навантаження та створено архітектуру додатку, яка було би найбільш оптимальною в користуванні;
- Створено веб-компоненти за допомогою інструментів Salesforce та підтримано стилістичне оформлення із SLDS;
- Реалізовано алгоритм розподілу навчального навантаження між викладачами та згенеровано таблиці, які стануть орієнтиром у створенні навчальних розкладів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] “Work & Stress - An International Journal of Work, Health & Organisations” [Online].
 [2] “Lightning Web Components Library” [Online]

NP-повні задачі та їх алгоритми

Марія Семаньків

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
dlyamarii@gmail.com

Париліак Олег

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна

NP-complete problems and their algorithms

Maria Semankiv

dept. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
dlyamarii@gmail.com

Paryliak Olek

mag. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine

Анотація—Описано декілька задач із класу NP-повних, продемонстровано їх приналежність до даного структурного елементу. Особливу увагу буде приділено задачі комівояжера та методам її вирішення.

Abstract—This electronic document covers theoretical information about the above-mentioned branches of algorithm theory and computational complexity. Also, several tasks from the class of NP-complete are described, their membership in this structural element is demonstrated. Particular attention will be paid to the task of the salesman and the methods of solving it.

Ключові слова—теорія алгоритмів, NP-повні задачі, задача комівояжера

Keywords—theory of algorithms, NP-complete problems, traveling salesman's problem

I. ВСТУП

На даний момент не існує жодного поліноміального алгоритму для вирішення задачі із класу NP. А важливість розв'язку задач із похідної категорії, а саме NP-повних або NP-complete (NPC), обумовлена однією властивістю: розв'язавши будь яку задачу із класу NPC за поліноміальний час, автоматично будуть розв'язані усі задачі із NP. А рівність $P = NP$ набуває істинності.

NP-повні задачі є найскладнішими для розв'язання серед всіх задач, які можна розв'язати за поліноміальний час. Це означає, що немає жодного відомого алгоритму, який зможе розв'язати ці задачі за прийнятний проміжок часу при збільшенні розміру вхідних даних. Проте, не зважаючи на це, існують деякі підходи, які можуть допомогти вирішувати NP-повні задачі. Один з них - це знаходження наближеного розв'язку, який може бути достатньо близьким до оптимального розв'язку, але може бути знайдений за

прийнятний час. Інший підхід - це використання спеціальних методів та евристик для зменшення кількості можливих варіантів, які потрібно розглянути під час пошуку розв'язку. Ці методи можуть значно зменшити час, потрібний для розв'язання задачі, хоча вони не гарантують знаходження оптимального розв'язку. Також, існують нові методи та технології, такі як квантові обчислювальні системи, які можуть зробити розв'язання NP-повних задач більш ефективними.

Отже, хоча NP-повні задачі залишаються складними для розв'язання, існують підходи та нові технології, які можуть допомогти зменшити час, необхідний для їх розв'язання.

II. ЗАДАЧА КОМІВОЯЖЕРА

Однією з відомих NP-повних задач є задача комівояжера, яка полягає в тому, щоб знайти найкоротший маршрут, який проходить через всі задані точки (міста, місця) і закінчується в початковій точці. Ця задача є однією з найвідоміших задач оптимізації та має багато практичних застосувань, зокрема в логістиці та транспортуванні товарів. Розв'язання задачі комівояжера є важким завданням, оскільки кількість можливих маршрутів збільшується експоненційно зі збільшенням кількості точок. Тому існують різні алгоритми та методи для ефективного розв'язання цієї задачі. Дана проблема відноситься до оптимізаційного типу.

Комівояжеру необхідно побувати у кожному місті рівно один раз, і повернутися у вихідне, з якого була розпочата мандрівка. Відомо що переміщення із міста i у місто j зазначається вартістю $c(i,j)$ гривень. А також можливе опрацювання задачі відносно відстані між містами. Якщо розглядати теорію графів, то можна так описати задачу: потрібно відшукати гамльтонів цикл у визначеному графі

із найменшою вартістю (сума вартості кожного ребра циклу буде його загальною ціною). У відповідність можна поставити задачу вирішення, яка звучатиме так: чи є у графі G гамільтонів цикл, вартістю меншою або такою ж як значення k . Мова даної проблеми описується таким чином,

$TSP = \{ \langle G, c, k \rangle : (V, E) - \text{повний граф},$
 $c: V * V \rightarrow Z - \text{функція вартості}, k \in Z,$
у графі G наявний цикл гамільтона із вартістю не більшою ніж $k \}$

Варто відмітити що дана задача відноситься до класу транс-обчислювальний, як в принципі і будь яка із класу NP-повних. Межею обчислення на сьогодні є 66 міст. Якщо на вхід буде подана така ж або більша кількість аргументів, то алгоритм пошуку методом перебору не дасть результату навіть при задіяні усіх обчислювальних машин планети що працюватимуть на протязі декількох мільярдів років.

Більшість прийнятних по часу та кількості вхідних даних методів для розв'язку даної задачі є евристичними (дають не оптимальний а наблизений до нього результат) із доволі значною похибкою. Окрім них існують і точніші методи, проте хоч їх виконання і входить у клас P, проте все ж займає значний проміжок часу для достатньо великої вибірки.

До простих методів з погляду реалізації можна віднести наступні: повний перебір; випадковий перебір; скупі алгоритми; метод найближчого сусіда; метод включення найближчого міста; алгоритм мінімального кістякового дерева; алгоритм імітації відпалу.

У наступному переліку будуть методи пошуку рішення для задачі комівояжера, реалізація котрих в разі складніша, проте і результат вони дають із меншою похибкою відносно оптимального: метод гілок та меж; метод еластичної сітки; мурашиний алгоритм; генетичний алгоритм; алгоритм динамічного програмування.

Алгоритм найближчого сусіда є простим у реалізації та доволі швидким. Проте, як і переважна кількість жадібних алгоритмів, він здатен давати розв'язання, що далеке від оптимального. Складність алгоритму $O(n^2)$. А результатом виконання даного алгоритму є маршрут, що може перевершити оптимальний на 25%. Для оцінки отриманого значення існує декілька евристичних методів. Можна, до прикладу, зіставити шлях на початкових кроках алгоритму зі шляхом на останніх його ходах, якщо вони умовно співпадають, то знайдений маршрут можна вважати допустимим, в іншому випадку, радше за все, існують перспективніші рішення. Також можна використати алгоритм нижньої граничної оцінки для аналізу отриманої дороги комівояжера.

Окрім вище описаних тверджень, обов'язково варто пам'ятати, що у разі наявності більше трьох міст у задачі комівояжера, імовірним є варіант такого підбору розташування міст (вибір початкової вершини та відстань між вершинами у графі), що алгоритмом найближчого сусіда буде отриманий найгірший результат.

III. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

У результаті проведеної роботи було отримано повноцінний програмний продукт під назвою TSP для отримання оптимального шляху сполучення міст Івано-Франківської області. А також надано можливість користувачу, порівняти результати вирішення проблеми комівояжера, що отримані трьома методами. А саме, методом повного перебору, удосконаленим методом найближчого сусіда та спрощеним методом гілок та меж.

Для наочності, користувачу демонструється отриманий маршрут у вигляді ліній сполучення між містами, побудованими на координатній площині.

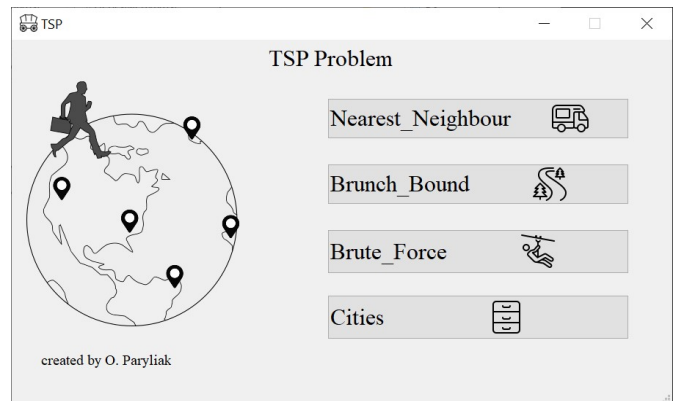


Рис. 1. Головна сторінка програми TSP

Натиснувши на кнопку поточного методу ("Nearest_Neighbour") побачимо вікно, що зображене на рис. 2. На ньому показана матриця відстаней, оптимальна дистанція та кнопка відображення графіку "Show_Path" побудованого оптимального маршруту. Натиснувши даний елемент, користувачу буде продемонстровано граф оптимального маршруту, що зображений на рис. 3.

	1	2	3	4	5	6	7	
1	inf	65.0	38.0	24.0	64.0	52.0	29.0	49
2	65.0	inf	60.0	65.0	129.0	15.0	37.0	10
3	38.0	60.0	inf	16.0	92.0	55.0	31.0	86
4	24.0	65.0	16.0	inf	77.0	56.0	29.0	70
5	64.0	129.0	92.0	77.0	inf	115.0	93.0	37
6	52.0	15.0	55.0	56.0	115.0	inf	27.0	90
7	29.0	37.0	31.0	29.0	93.0	27.0	inf	75
8	49.0	105.0	86.0	70.0	37.0	90.0	75.0	inf
9	73.0	124.0	111.0	95.0	49.0	109.0	97.0	75

Distance: 390.0 Show Path

Рис. 2. Вікно "Nearest_Neighbour".

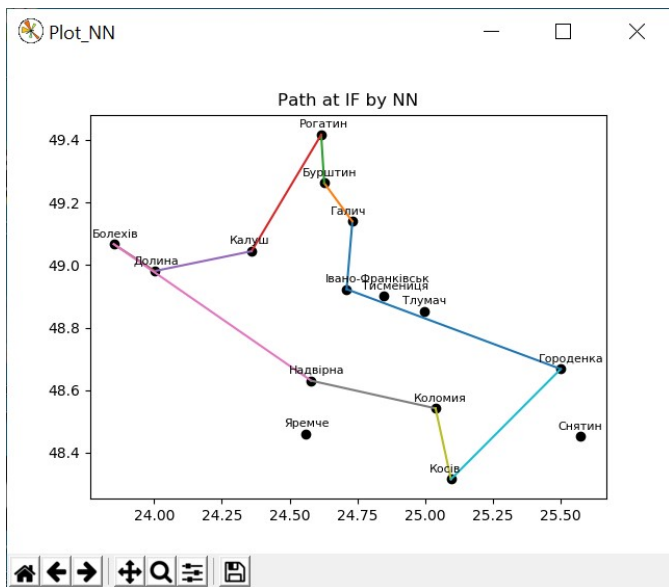


Рис. 3. Граф "Nearest_Neighbour".

Здійснено удосконалення алгоритму найближчого сусіда, яке полягає у додаванні перебору першої вершини маршруту. Це покращило отримувані результати у певних випадках на 20%. При цьому, час виконання застосунку не критично збільшився, а складність виросла на значення $O(n)$. Розроблені методи дають значний приріст як у оптимальності маршруту, у порівнянні із оригіналами, так і у часі у порівнянні із методом перебору, при цьому, похибка методу "Nearest_Neighbour" на вибірці із одинадцяти міст Івано-Франківської області становить всього 0.74 %. Що є доволі прийнятним результатом.

Варто підмітити що у порівнянні із оригіналом методу найближчого сусіда, було отримано приріст у точності в розмірі 0% за умови вибору першого міста як початкового, проте у разі вибору другого міста, приріст складає 16.75 % (оригінал – 419.1 км, удосконалений – 358.9 км).

Розроблений програмний продукт під назвою TSP дозволяє отримати оптимальний шлях сполучення міст

Івано-Франківської області. Користувачу обирає один з трьох методів розв'язання задачі комівояжера та отримує результат методом повного перебору, удосконаленим методом найближчого сусіда та спрощеним методом гілок та меж.

ВИСНОВКИ

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень, було удосконалено метод для пошуку оптимального шляху задачі комівояжера та алгоритм найближчого сусіда. Розроблено ефективний удосконалений метод найближчого сусіда, котрий здатен покращити оптимальний шлях оригінального методу у проміжку 0 – 18,36%. Після чого було спроектовано програмну реалізацію та створення некомерційного продукту для втілення вищезазваних методів у реальність. А також проведено аналіз ефективності розроблених алгоритмів на основі даних п'ятнадцяти міст Івано-Франківської області.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.; Stein, Clifford. Introduction to Algorithms. — 2nd. — MIT Press and McGraw-Hill, 2001. — ISBN 0-262-53196-8.
- [2] Hopcroft, John E.; Motwani, Rajeev; Ullman, Jeffrey D. (2000). Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation (2nd ed.). Addison-Wesley. ISBN 81-7808-347-7.
- [3] Задача про кліку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Задача_про_кліку.
- [4] Задача комівояжера [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/Задача_коммивояжера.
- [5] Вершинне покриття [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вершинне_покриття.
- [6] Алгоритм Літгла [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/332208/>.
- [7] Gutin, A. Yeo and A. Zverovich, Traveling salesman should not be greedy: domination analysis of greedy-type heuristics for the TSP. Discrete Applied Mathematics 117 (2002), 81-86.
- [8] J. Bang-Jensen, G. Gutin and A. Yeo, When the greedy algorithm fails. Discrete Optimization 1 (2004), 121-127.
- [9] G. Bendall and F. Margot, Greedy Type Resistance of Combinatorial Problems, Discrete Optimization 3 (2006), 288-298.

Вибір підходу для реалізації баз даних

Марія Семаньків

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
dlyamarii@gmail.com

Яворський Ігор

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна

Choosing an approach to creating databases

Maria Semankiv

dept. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
dlyamarii@gmail.com

Yavorskyi Ihor

mag. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine

Анотація—Проаналізовано підходи до організації та зберігання даних, переваги та недоліки SQL і NoSQL, визначено фактори, що впливають на вибір.

Abstract—Approaches to data organization and storage, advantages and disadvantages of SQL and NoSQL are analyzed, factors influencing the choice are determined.

Ключові слова—бази даних, SQL, NoSQL.

Keywords—database, SQL, NoSQL.

I. ВСТУП

Бази даних є важливим елементом багатьох додатків та систем. Вони дозволяють зберігати та організувати великі обсяги даних та забезпечувати ефективний доступ до них. У базах даних існують різні типи моделей даних, такі як реляційні, NoSQL, ієрархічні, мережеві та інші. Реляційні бази даних є поки-що одним з найбільш популярних типів баз даних. Вони використовують табличну структуру для зберігання та управління даними, де кожна таблиця представляє певний тип об'єктів, а кожен рядок таблиці - конкретний екземпляр цього типу. Реляційні бази даних використовують мову структурованого запиту (SQL) для взаємодії з даними.

NoSQL (Not only SQL) є підходом до організації та зберігання даних, який відрізняється від традиційних реляційних баз даних (RDBMS). Основна ідея NoSQL полягає в тому, щоб надати гнучкість та масштабованість у роботі з даними, особливо коли маємо справу з великими обсягами даних та вимогами до швидкості обробки.

II. ВИБІР МІЖ РЕЛЯЦІЙНИМ ТА НЕРЕЛЯЦІЙНИМ СХОВИЩЕМ ДАНИХ

Вибираючи між SQL (Structured Query Language) і NoSQL, потрібно оцінити те, як виглядають наявні дані та як буде відбуватись процес їх отримання.

Структура даних – є першим і основним фактором вибору між Sql і NoSql підходами є те, як будуть виглядати дані. Якщо ці дані є переважно структуровані, база даних SQL, ймовірно, буде правильним вибором.

Бази даних SQL добре використовувати в системах, які напрямлені на транзакції, таких як інструменти управління відносинами з клієнтами, бухгалтерське програмне забезпечення та платформи електронної комерції. Кожен рядок у базі даних SQL є окремою сутністю (наприклад, клієнтом), а кожен стовпець є атрибутом, який описує цю сутність (наприклад, адреса, назва посади, придбаний товар тощо). Через ці чіткі, структуровані зв'язки між рядками та стовпцями в таблиці, бази даних SQL найкраще підходять, коли потрібна відповідність ACID. ACID означає: атомарність, узгодженість, ізоляція, довговічність. Якщо дані є чітко структуровані, а відповідність ACID є обов'язковою, SQL — чудовий вибір.

З іншого боку, якщо вимоги до даних незрозумілі або якщо дані неструктуровані, NoSQL може бути кращим варіантом. Дані, які зберігаються в базі даних NoSQL, не потребують попередньо визначеної схеми, як для бази даних SQL. Швидше, дані можуть бути сховищами стовпців, орієнтованими на документ, на основі графіків або парами ключ-значення. Це допомагає в забезпеченні гнучкості і дозволяє виділяти менше часу на планування під час управління базою даних (рис 1).

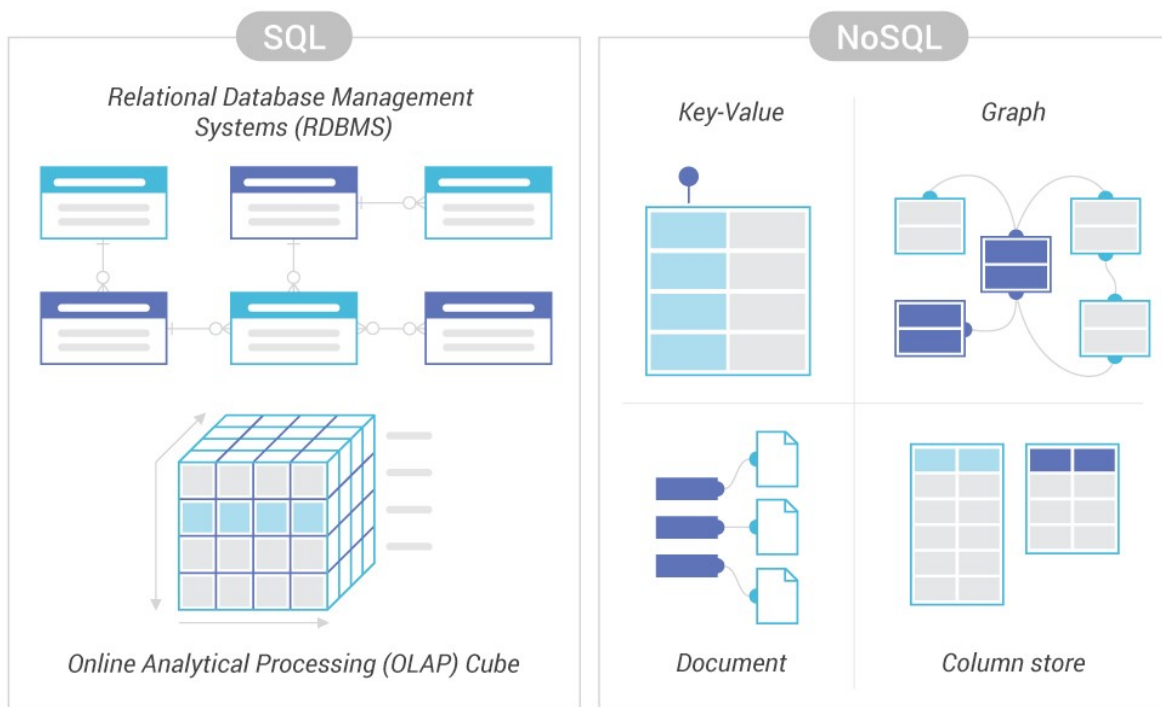


Рис. 1. Моделі збереження даних в Sql та NoSql

За допомогою NoSQL можливо створювати документи без попереднього визначення їх структури; додавати поля до моделі, не змінюючи поля існуючих документів; зберігати документи, які мають свою унікальну структуру; мати кілька баз даних з різною структурою та синтаксисом.

База даних NoSQL набагато краще підходить для зберігання неструктурованих даних, які не можуть бути обмежені SQL таблицями. Бази даних NoSQL були створені з урахуванням гнучкості та масштабованості та дотримуються моделі узгодженості BASE, основними вимогами якої є: основна доступність (Basically available); м'який стан (Soft state); кінцева консистенція (Eventual consistency).

Процес отримання даних - є наступний фактором, який слід враховувати, є те, як часто дані будуть запитуватись, як швидко потрібно виконувати запити та хто відповідатиме за виконання цих запитів.

SQL ефективно виконує запити, швидко отримує та редагує дані. Вона дуже легка і декларативна, тому запити може виконувати менш технічний персонал, наприклад бізнес-аналітики чи маркетологи.

База даних NoSQL забезпечує велику гнучкість у типах даних, які можна зберігати, але через потенційно великі відмінності в структурах даних запити не так ефективні, як у базі даних SQL.

Під час створення технології баз даних NoSQL розробники зосередилися на масштабованості та гнучкості, а не на ефективності запитів.

Масштабування – третій фактор вибору. Бази даних SQL і NoSQL масштабуються по-різному, тому доведеться подумати про те, як набір даних буде зростати в майбутньому.

Бази даних SQL масштабуються вертикально, а це означає, що потрібно буде збільшити ємність одного сервера (збільшення ЦП, RAM або SSD), щоб масштабувати базу даних. Бази даних SQL були розроблені для роботи на одному сервері для підтримки цілісності даних, тому їх нелегко масштабувати.

Бази даних NoSQL масштабуються горизонтально, тобто для масштабування достатньо додати більше пам'яті на сервері. Це величезна перевага, яку NoSQL має перед SQL, що пов'язана з відсутністю структури даних. Оскільки NoSQL вимагає набагато менше структури, ніж SQL, кожен збережений об'єкт майже незалежний чи мало залежний від інших.

Використання NoDb забезпечує динамічну генерацію сутностей, максимальну швидкість доступу до даних (за рахунок відсутності часу очікування на зв'язок з базою даних, та транспортування об'єктів), економію на коштах які могли б бути витрачені на утримання хмарної реляційної бази даних та захищеність даних в момент транспортування по мережі.

ВИСНОВКИ

Реляційні бази даних, які використовують мову структурованих запитів SQL, мають кілька переваг:

- Структурованість і цілісність даних: Реляційні бази даних вимагають, щоб дані були організовані у

таблиці зі структурованими стовпцями. Це забезпечує цілісність даних та уніфікованість збереження. Реляційні бази даних можуть дотримуватися нормалізації, що дозволяє уникнути дублювання даних і забезпечити їхню консистентність.

- Широкі можливості запитів: SQL надає потужну мову запитів, яка дозволяє виконувати складні операції над даними, такі як об'єднання (joins), фільтрація (filtering), сортування (sorting) та агрегування (aggregation). Запити SQL дозволяють швидко і ефективно виконувати розширені аналітичні завдання і звіти.
- Цілісність даних і обмеження цілісності: Реляційні бази даних дозволяють встановлювати обмеження цілісності, такі як унікальність значень, цілочисельність, перевірки, зовнішні ключі тощо. Це забезпечує, що дані в базі даних залишаються консистентними і відповідають певним правилам і обмеженням.
- Транзакційна підтримка: Реляційні бази даних зазвичай надають підтримку транзакцій, що дозволяє групувати операції в логічні одиниці, які виконуються атомарно, цілісно, стійко до відмови та ізольовано від інших транзакцій. Це дозволяє забезпечити консистентність бази даних в разі збоїв або помилок.
- Розширюваність: Реляційні бази даних можуть бути розширені шляхом додавання нових таблиць, стовпців або індексів. Це дозволяє легко розширювати базу даних, відповідаючи змінюваним потребам додатків.
- Запити зі зв'язками: Реляційні бази даних підтримують зв'язки між таблицями за допомогою зовнішніх ключів. Це дозволяє встановлювати зв'язки між даними і здійснювати складні запити, які об'єднують дані з різних таблиць.

Враховуючи ці переваги можна зробити висновок, що реляційні бази даних є потужним інструментом для зберігання та обробки структурованих даних. Однак, в деяких випадках, коли маємо справу з великими обсягами нереляційних або недостатньо структурованих даних, або коли потрібна масштабованість на рівні сервера, інші типи баз даних, такі як NoSQL, можуть бути більш ефективнішими.

Переваги NoSQL:

- Гнучкість схеми даних: NoSQL бази даних дозволяють зберігати дані без жорсткої вимоги до заздалегідь визначеної схеми даних. Це означає, що можна додавати нові поля до документів або змінювати структуру даних без необхідності проведення складних міграцій.

- Масштабованість: NoSQL бази даних добре підходять для масштабованих додатків, оскільки вони можуть працювати на кластерах серверів та обробляти великі обсяги даних. Вони дозволяють горизонтальне масштабування шляхом додавання нових серверів до кластера.
- Висока швидкодія: NoSQL бази даних зазвичай забезпечують високу швидкодію завдяки простій структурі даних та відсутності складних зв'язків між таблицями, як у реляційних базах даних. Це особливо корисно при роботі з великими обсягами даних або у вимогливих до продуктивності додатках.
- Розподілена стійкість: NoSQL бази даних можуть забезпечувати високу стійкість до відмов завдяки реплікації даних на кількох серверах. Це дозволяє зберігати дані навіть у випадку відмови деяких серверів.

Недоліки NoSQL:

- Відсутність стандартизації: Оскільки NoSQL бази даних представляють різні підходи та моделі зберігання даних, відсутня єдина стандартизована мова запитів та інтерфейс. Це може призвести до складнощів у взаємодії з базами даних різних типів.
- Відсутність підтримки транзакцій: Багато NoSQL баз даних не підтримують транзакції, які забезпечують атомарність, консистентність, ізольованість та стійкість (ACID властивості). Це може бути недоліком, якщо ваша додаток потребує суворої контрольованої цілісності даних.
- Обмежена функціональність запитів: Деякі NoSQL бази даних мають обмежену підтримку складних запитів та агрегаційних операцій. Це може ускладнити аналіз та обробку даних в деяких випадках.
- Відсутність зв'язків між даними: Оскільки NoSQL бази даних не використовують реляційну модель, вони не підтримують зв'язки між даними, такі як зовнішні ключі. Це може бути недоліком, якщо ваша додаток потребує складних зв'язків між сутностями.

Вибір між NoSQL та реляційними базами даних залежить від конкретних потреб вашого проекту. NoSQL бази даних є потужним інструментом для масштабованих додатків з гнучкими вимогами до схеми даних та вимогами до високої продуктивності, але вони можуть бути менш ефективними для додатків з потребою в суворій цілісності даних та складних зв'язках між ними.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Берко А. Ю., Верес О. М. Організація баз даних: практичний курс: Навч. посіб. для студ. /; Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2003. 149 с
- [2] Пасічник В. В. Організація баз даних та знань. / В. В. Пасічник, В. А. Резніченко. – К.: Видавнича група BHV, 2006. – 384 с.

Інформаційна технологія проведення добору працівників

Володимир Темніков
кафедра засобів захисту інформації
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
temnikov_v@ukr.net

Андрій Темніков
кафедра прикладної математики
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
temnikoff@ukr.net

Information technology for recruitment

Volodymyr Temnikov
dept. of Information Protection
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
temnikov_v@ukr.net

Andrii Temnikov
dept. of Applied Math
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
temnikoff@ukr.net

Анотація – У роботі представлена інформаційна технологія для проведення професійного добору працівників для виконання робіт підвищеної небезпеки. Технологія побудована на основі лінгвістичного експертного оцінювання функціонального стану осіб і методів теорій нечітких множин, перцептивних обчислень та експертного аналізу. Для практичної реалізації інформаційної технології розроблена інформаційна система, призначена для інформаційної підтримки осіб, що приймають управлінські рішення щодо допуску або недопуску осіб до виконання певної категорії робіт та визначення найбільш гідних кандидатів.

Abstract – The paper presents an information technology for the professional recruitment for high-risk tasks. The technology is based on linguistic expert evaluation of individuals' functional state and utilizes methods from fuzzy set theory, perceptual computing, and expert analysis. For the practical implementation of the information technology, an information system has been developed, which is designed to provide information support to decision-makers responsible for determining the admission or non-admission of individuals to perform specific categories of tasks and identifying the most suitable candidates.

Ключові слова – інформаційна технологія, інформаційна система, функціональний стан людини, перцептивні обчислення.

Keywords – information technology, information system, human functional state, perceptual computing.

I. INTRODUCTION

The study introduces an information technology (IT) devised by the authors to facilitate the professional screening of personnel for positions entailing for high-risk tasks.

The nature of conducting professional screening for the aforementioned category, as outlined in the Law of Ukraine

“On Amendments to the Law of Ukraine «On Labor Protection»” [1], necessitates the implementation of psychophysiological assessment. This process entails the evaluation of established psychophysiological parameters highlighted in [2], including sensorimotor responses, attentional capacity and its speed of modulation, visual and auditory memory capabilities, emotional resilience, and more.

The tangible outcome of the authors' developed IT is an Information System (IS) designed to provide information support to decision-makers engaged in the process of professional recruitment for high-risk occupations.

By leveraging the implemented IS, candidates can be compared and assessed based on their functional state (FS) to identify the most suitable candidates. The FS evaluation encompasses not only the aforementioned psychophysiological indicators but also factors related to health and professionalism, such as knowledge level, skillset, and aptitude. These FS indicators are assessed by subject matter experts in various fields, including medicine, psychophysiology, technology, and other relevant domains.

II. BASIC PRINCIPLES OF THE DEVELOPED INFORMATION TECHNOLOGY

The developed IT facilitates the comparative analysis of candidates seeking clearance for high-risk occupations based on aggregated indicators of their functional state. These indicators encompass aspects of health, psychophysiological measures, and professionalism. The evaluation of an individual's FS involves the consolidation of independent assessments provided by multiple experts in diverse fields such as medicine, psychophysiology, technology, and other relevant domains.

The practical significance of the developed information technology lies in its capability to consider both quantitative

(measurable) and qualitative (non-numerical) indicators of an individual. This encompasses measurement results as well as expert verbal assessments.

The authors propose a methodology for calculating candidates' aggregated FS scores using weighted graph models, with linguistic representation of input nodes. An advantage of the developed IT is the incorporation of indicator and indicator group importance (weight) in the computation of aggregated indicators. Importantly, the assignment of weights is designed to be user-friendly for experts, utilizing linguistic terms.

The scientific foundation of the developed information technology is grounded in perceptual computing and fuzzy sets theories. Fuzzy set theory methods are particularly appropriate due to the inability to directly measure qualitative FS indicators and the subjective nature of expert assessments for these indicators.

In perceptual computing, words undergo sequential processing through three blocks [3]: a coder, which converts words into their fuzzy set representations, a CWW transformer, which manipulates fuzzy set and generates one or more alternative fuzzy set, and a decoder, which transforms the output of the CWW transformer into a suitable representation for the specific problem at hand.

For the application of perceptual computing, the authors propose utilizing interval type-2 fuzzy sets as models for representing words.

III. ARCHITECTURE OF THE DEVELOPED INFORMATION SYSTEM

The developed information system adopts a client-server architecture comprising various components:

- Four thin clients: These clients serve as interfaces for specific user types, granting them access to the application server. Each client is tailored to provide distinct functional capabilities based on the user's requirements.
- Application server: This server houses the necessary applications to execute the tasks assigned to the clients. It handles client requests and delivers the required functions and services.
- Database: All data pertaining to the system's corresponding model parameters and calculation results are stored within this database. It serves as the central repository for information in the IS.
- Database server: This server facilitates the operation of the database, ensuring seamless access to data and safeguarding its security and integrity.
- Local network: The local network serves as the medium for data exchange among all system components. Its adoption over a wide-area network is motivated by the system's stringent requirements for data security and integrity.

The developed IS incorporates four distinct user types, each assigned specific responsibilities to facilitate task distribution and efficient system operation:

- Graphical model client: These users are experts in diverse knowledge domains, such as medicine and engineering. Their primary task involves developing a graphical hierarchical model to derive aggregated indicators of human functional state.

Users of the graph model client will need to specify all the constituent factors of the FS model, group them into higher-level blocks, link tasks and blocks, and assign the weight of each connecting arc. The words for the weights of the connecting arcs are selected from a codebook stored in the database. Each word has an associated model in the form of interval type-2 fuzzy sets.

- Codebook client: Users working with this client are responsible for developing a codebook that includes the words used in the IS and their representation as type-2 interval fuzzy sets.
- Analytics client: The main responsibility of these users is to analyze the results of assessing the overall quality (level) of candidates' functional states. They also determine the quality level of each factor from the graphical model, utilizing the words from the codebook. Assessment and control applications are employed for these purposes.
- Manager client: These users, guided by the recommendations of the analytics client, make managerial decisions based on the analyzed data.

These distinct user types contribute to workload distribution and ensure the efficient functioning of the IS.

IV. CONCLUSIONS

The authors have devised an information technology solution that facilitates the recruitment for high-risk tasks through the comparison of aggregated assessments of individuals' functional states.

The core of the information technology solution lies in the representation of expert evaluations of candidates' initial indicators of health status, professionalism, and psychophysiological measures using words. These evaluations are subsequently aggregated employing techniques derived from the theory of perceptual computing, specifically employing interval type-2 fuzzy sets to model words and utilizing the CWW transformer for processing. Graph models are also integrated into the system.

The practical outcome of this work is the creation of an information system that aims to enhance the objectivity of decision-making for individuals responsible for determining the eligibility of candidates to undertake high-risk tasks.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Закон України "Про внесення змін до Закону України «Про охорону праці»" [Текст]. – К., 2004. – 20 с.
- [2] Наказ МОЗ України № 263/121 від 23.09.94 «Про затвердження переліку робіт, де є потреба у професійному доборі» / ДНАОП 0.03-8.06-94
- [3] Mendel J. M. Perceptual computing. Aiding people in making subjective judgments / J. M. Mendel, D. Wu. – New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2010. – 339 p.

Expanding the possibilities of electrocardiogram signals processing and analysis

Ihor Dumyn

Dept. of Computerized Control Systems

Lviv Polytechnic National University

Lviv, Ukraine

ihor.r.dumyn@lpnu.

Abstract— Cardiovascular disease is the leading cause of death in the world: more people die from CVD than from any other disease every year. According to WHO estimates, 17.9 million people died of CVD in 2019, accounting for 32% of all deaths worldwide. Of these, 85% of deaths were due to heart attack and stroke [1]. To prevent these sad statistics, diagnosing the disease as early as possible and starting treatment immediately is necessary.

This paper reviews existing studies using the wavelet transform (WT) to detect electrocardiogram (ECG) complexes, analyze ECG signals to identify features of the studied signal complexes, and analyze decomposed signals to obtain in-depth diagnostic data. The reviewed studies show the high efficiency of using this method for signal analysis and open the way for further research in the direction of identifying additional information from the ECG signal, which would serve as the basis for early diagnosis of CVD.

Keywords— *digital signal processing; Wavelet transform; ECG; QRS*

I. INTRODUCTION

Modern functional diagnostics of cardiovascular diseases have a large number of different instrumental research methods at their disposal, but one of the most common is electrocardiography (ECG). Since its discovery, this method of studying the bioelectrical activity of the heart has been a leading method in the diagnosis of rhythm and conduction disorders, coronary heart disease, and other diseases of the cardiovascular system [2].

For traditional methods of ECG analysis, such as visual inspection, the doctor identifies characteristic visible features on the ECG. An unusually long PR interval, for example, indicates a conduction defect in the atria or a prolonged QT interval can lead to an abnormal heart rhythm. Unfortunately, for many medical problems, such significant signs cannot be identified so easily. In addition, standard characteristics such as PR interval, QRS width, or ST level are ambiguous in many cases. As a result, sophisticated feature extraction methods are used. Such methods try to find new features that allow the diagnosis of CVD based on the ECG. These features can be obtained from the ECG in the time domain, ECG in the time-frequency domain, or ECG in the frequency domain. These features can then be processed using various approaches such as visual inspection or machine learning algorithms [3].

With the growth of computing performance and the development of digital signal processing, it is important to solve the problems of classification/clustering of ECG signals, as well as forecasting problems using this approach. Achieving high results in solving these problems is impossible without providing an in-depth analysis of such signals, which in turn can be achieved by using wavelet processing with the subsequent use of neural networks. Unlike the Fourier transform, the wavelet transform provides a two-dimensional representation of the signal, with the scale and time offset considered independently, which makes it possible to analyze signals in two independent spaces at once - scale and time. The results of ECG wavelet analysis contain not only information about the distribution of cardiac signal energy by frequency components, but also information about the time coordinates at which certain frequency components are detected or at which rapid changes in the frequency components of the cardiac signal occur.

II. ECG SIGNAL PROCESSING APPROACHES

The main methods of ECG signal conversion and processing include a number of steps aimed at improving the quality of ECG signals and extracting relevant informative components from them. These steps usually include:

- pre-processing; which involves removing noise, artifacts, and baseline drift from the ECG signal;
- complexes extraction; predicting the identification of key ECG signal characteristics, such as the QRS complex, P-wave, and T-wave, and measuring their characteristics, such as amplitude, duration, and morphology;
- classification; includes the classification of an ECG signal based on identified features and characteristics; classification methods may include pattern recognition, machine learning, and decision-making algorithms;
- interpretation; involves analyzing the classification results and identifying any abnormalities or signs of disease; interpretation methods may include knowledge-based systems, clinical guidelines, and medical expertise.

III. DIFFICULTIES AND CHALLENGES OF ECG SIGNAL PROCESSING

ECG signal processing is a key stage that precedes diagnosis and decision-making in the treatment of heart disease. However, signal processing encounters a number of difficulties that affect the accuracy and reliability of the test results. Common difficulties in ECG signal processing include:

- ECG signals are often contaminated by noise from various sources, such as muscle movement, electrical interference, and baseline drift, which can make it difficult to identify and isolate relevant signal characteristics, such as the QRS complex.
- Artifacts are abnormal signals that can occur during the acquisition or processing of ECG signals. They can include electrode movement, baseline drift, and electrode contact problems. Artifacts can distort the signal and make it difficult to interpret.
- ECG signals can vary significantly between people and even within the same person over time. This can make it difficult to establish normal ranges and diagnose abnormalities.
- The presence of ambiguity: Received ECG signals can be ambiguous, meaning that different abnormalities can cause similar or equivalent signal characteristics, which can make it difficult to distinguish between conditions and accurately diagnose the underlying problem.
- Computational complexity. ECG signal processing often requires complex algorithms and computational inputs, which are computationally expensive and time-consuming. This can limit the implementation of ECG signal processing in real-world clinical settings.

IV. WAVELET TRANSFORM FOR ECG SIGNAL PROCESSING

A. Selection of ECG complexes

In this study, to extract the components of the ECG signal using a continuous wavelet transform [8], it was proposed to use the wavelet function "bior1.5" with a scale of 15 to detect the QRS complex and 41 to detect the P and T waves. As shown by the experimental results, scales 15 and 41 provide the greatest accuracy in detecting these complexes of the studied signal. In this approach, it is proposed to use a threshold value equal to half of the global maximum (minimum) to detect the points of the complexes: $t1=0,5\max(\{C(i)\})$ or $t2=0,5\min(\{C(i)\})$, where $C(i)$ - wavelet coefficients and $i=1..N$. Also, taking into account the large amplitude difference between the QRS complex and P, T waves, for accurate detection of P and T waves, after detecting QRS complexes, it is necessary to "remove" them (QRS complexes) by linearly approximating each such signal section. Thus, the detection algorithm is as follows:

1. Isolation of QRS complexes:

- Apply a wavelet transform ("bior1.5") with a scale factor of $a = 15$;
- Calculating the thresholds $t1=0.5\max(\{C(i)\})$ and $t2=0.5\min(\{C(i)\})$;

- Finding a pair of coefficients that cross the zero level;
- Selecting two consecutive pairs so that between each of them there is a wavelet coefficient that exceeds the threshold values $t1$ and $t2$ by absolute value. The first wavelet coefficient is the beginning of the QRS complex, the second is the peak, and the third is its end.

2. Removal of QRS complexes with the linear approximation of signal sections between the points marked as the beginning and end of QRS complexes.

3. Separation of P and T waves:

- Using a wavelet transform with a scale factor of $a = 41$;
- Calculating the threshold values $t1=0.5\max(\{C(i)\})$ and $t2=0.5\min(\{C(i)\})$;
- Finding a pair of wavelet coefficients that lie on both sides of zero;
- Selecting two consecutive pairs of wavelet coefficients so that between each of them there is a wavelet coefficient that exceeds the threshold values $t1$ and $t2$ by absolute value. The first wavelet coefficient is the beginning of the P-wave, the second is the peak of the wave, and the third is its offset;
- Select the next two consecutive pairs of wavelet coefficients in the same way as the previous two. The first wavelet coefficient will be the beginning of the T-wave, the second will be the peak of the wave, and the third will be its offset.
- The results of the complexes isolation are shown in Figures 1-5.

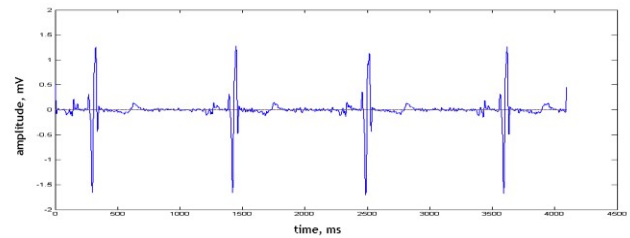


Fig. 1 Application of the WT with a scale factor $a=15$ to the ECG signal

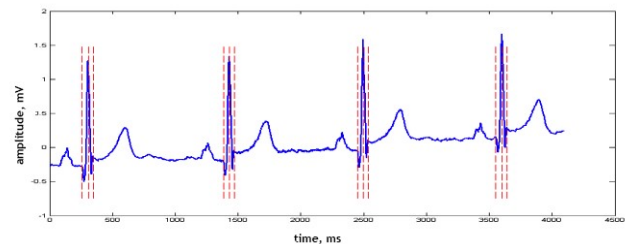


Fig. 2 Selected QRS complexes of the ECG signal

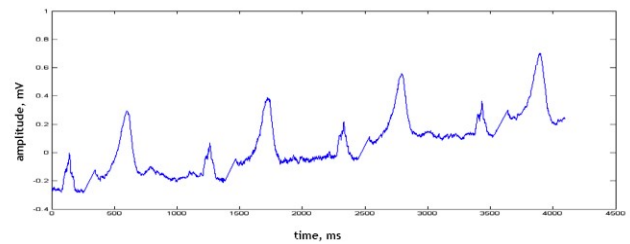


Fig. 3 "Removal" of QRS complexes from the ECG signal

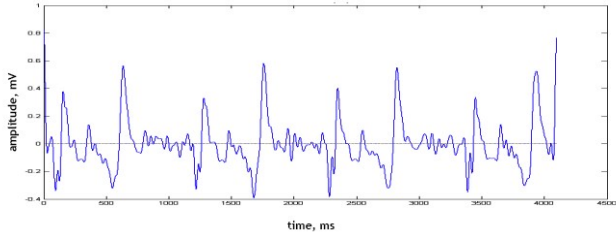


Fig. 4 Application of the WT with a scale factor of a=41

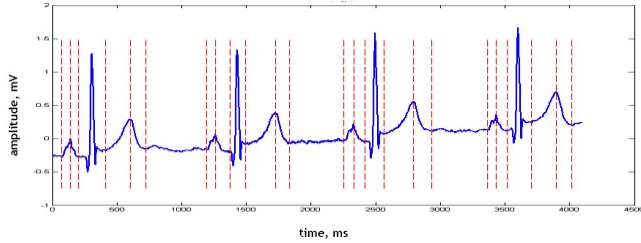


Fig. 5 Selected P and T waves of the ECG signal

As a result of the study on the Phisionet ECG sample, using signals with various pathologies, P-QRS-T complexes were detected with an accuracy that varied in the range of 0.5-1% [4].

B. Identification of features in ECG complexes

Especially necessary from the point of view of diagnosing cardiovascular diseases is additional information that may be contained in ECG signal complexes and which must be taken into account in the transformation. It is proposed to perform the synthesis of specialized wavelet functions to solve the problems of extracting late atrial potentials (ALP). It is necessary to consider non-invasive electrocardiographic criteria for the presence of high arrhythmic readiness and the risk of life-threatening arrhythmias when analyzing the P-wave of the electrocardiogram using a continuous wavelet transform (CWT).

In the frequency representation, the ECG signal has different components: low-frequency and low-amplitude P and T waves, a higher-frequency and largest QRS complex, and late potentials characterized by the lowest amplitude and high frequency. Noise components of the ECG signal complicate the detection of late potentials most of all (Fig. 6).

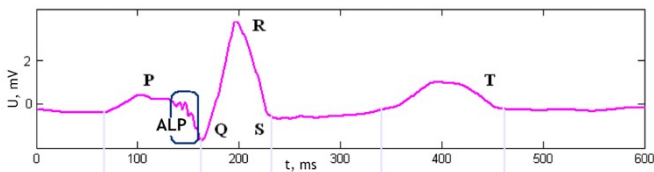


Fig.6 ECG signal with ALP

In this case, we consider the need to create a new wavelet function based on the ALP model, which is proposed to be formed by the least-squares approximation to the microburst model to meet the requirements for wavelet functions [5, 7]. This function allows for ALP extraction when used in the continuous wavelet transform (CWT) for the P wave (Fig. 7).

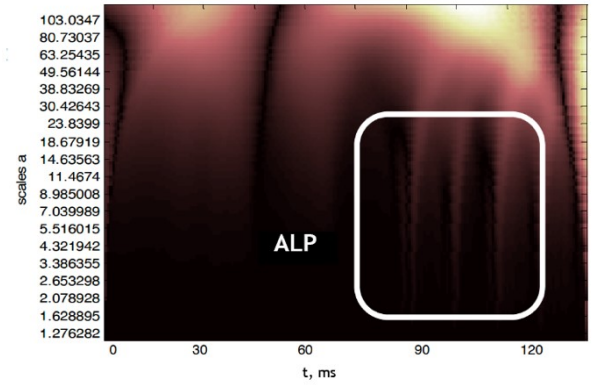


Fig. 7 P wave using the synthesized wavelet function (4 ALPs are present)

To compare the effectiveness of ALP detection using wavelet functions adapted to the shape of ALP and standard wavelets, statistical characteristics were calculated. In order to obtain numerical characteristics in the analysis of the P wave with the presence of ALP, an average curve of wavelet coefficients is calculated for all scales of the selected range:

$$\bar{W}(t) = \frac{1}{M_{\text{min}}} \sum_{k=1}^{M_{\text{min}}} W_k(t),$$

where $W_k(t)$ - is a vector of wavelet coefficients for each of the scales in the specified interval, and the M_{min} is the length of the scale vector.

Among the standard wavelet functions for comparison, the Dobeshi wavelet function of the 4th order, the coiflet of the 4th order, the symlet of the 4th order, and the Meyer wavelet function (db4, coif4, sym4, meyr) were chosen as wavelets that allow obtaining more visualized cardiac cycle scalograms with ALP than other standard wavelets.

Table. 1 shows the normalized values of the standard deviation $\sigma/\sigma_{\text{max}}$ for the averaged curve of wavelet coefficients and the normalized values of the area under the averaged curve of absolute values of wavelet coefficients S/S_{max} for different wavelet functions, where σ and S are the values of the standard deviation and area under the curve for a given wavelet, σ_{max} and S_{max} are the maximum values of these parameters among all wavelets that were studied.

TABLE II. TABLE 1 PARAMETERS $\sigma/\sigma_{\text{MAX}}$ AND S/S_{MAX} OBTAINED USING DIFFERENT WAVELET FUNCTIONS

	Synthesized wavelet	db4	sym4	coif4	meyr
$\sigma/\sigma_{\text{max}}$	1	0,8	0,91	0,9	0,71
S/S_{max}	1	0,55	0,62	0,65	0,48

From the results shown in Table 1, it can be seen that when applying the adapted wavelet function to detect ALP, the area under the averaged curve of absolute values of wavelet coefficients significantly exceeds this parameter obtained with CWT using standard wavelet functions. In turn, this confirms the high efficiency of this method for detecting features in complexes of ECG signals.

C. Analysis of signals processed using wavelet transform

In this study, wavelet transform was used to diagnose myocardial infarction. To distinguish between a healthy signal and a signal with pathology, a cross-wavelet transform based on a continuous wavelet transform with the Morlet wavelet as the mother function was applied [6].

$$WBCAF(s, \tau) = \frac{1}{c_g} \int_{+\infty}^{-\infty} \frac{da}{a^2} \int_{-\infty}^{\infty} [W_g \tau_1(a, b)] [W_g^* \tau_2(sa, sb - \tau)] db,$$

where $W_g \tau_1(a, b)$ - wavelet transformation of the signal of a healthy patient; relative to the base function g ,

$W_g^* \tau_2(sa, sb - \tau)$ - wavelet transformation of the signal of a patient with pathology; relative to the base function g ,
 a, b - time scale and offset, respectively.

Using these methods, the QT zone containing the main signs of myocardial infarction and the differences between the areas of the studied and standard signals were identified.

To search for similarities in the waveforms, the heartbeats were identified, the main element of which is the R-peak. To detect and determine the peak on the ECG, a discrete wavelet transform of the signal was applied, followed by signal recovery by coefficients of 4 and 5 levels. The coefficients of levels 4 and 5 contain the frequency information corresponding to the R-peaks of the ECG signal, which is necessary for the extraction of heartbeats.

As a result of the cross-wavelet transformation, it was found that the QT zone area is located in the interval of samples from 350 to 750 - to the left of the R peak and at some distance from it on the right. This time interval was considered for further study. To do this, the spectrum or correlation values in the interval from 350 to 750 were summed over time and over all scale values, according to the following expression:

$$WCS(s) = \sum_{t=350}^{750} WCS(s, t)$$

Subsequently, we determined the scale interval significant for detecting myocardial infarction, which allows us to distinguish between a healthy and pathological signal in a more qualitative way. Figure 8 shows that the scale interval significant for detecting myocardial infarction is between 75 and 325 scales. Based on the total values of the spectrum and correlation obtained in time and scale intervals, a point plot of the dependence of the wavelet spectrum on the wavelet correlation is shown in Fig. 9, which allows us to judge some of the signs of the initial cardiovascular system disease.

V. CONCLUSIONS

Based on the study, it can be concluded that the wavelet transform can be widely used for a comprehensive analysis of nonstationary signals and, in particular, ECG as one of the representatives of this set. The wavelet transform can be used to eliminate noise and signal artifacts, distinguish ECG signal

complexes, and to further classify them and measure their characteristics. The mathematical apparatus of the wavelet transform allows you to significantly expand the possibilities of studying the ECG signal and extracting the maximum information from it.

The data obtained as a result of such processing should be used for further analysis and diagnosis using machine learning algorithms [14], which will allow for a further qualitatively new interpretation of the results in the context of diagnosing cardiovascular diseases and their prognosis.

REFERENCES

- [1] Cardiovascular diseases (CVDs). World Health Organization (WHO). URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-cvds>
- [2] V. A. Vizir, O. V. Demidenko, I. B. Prykhodko [ta in.]. - Elektrokardiohrafia. Funktsionalni EKH testy. Ambulatorne monitoruvannia EKH (za Kholterom) ta arterialnoho tysku: navch.-metod. posib. do praktychnykh zaniat z funktsionalnoi diahnostryky dlia studentiv 5 kursu medychnykh fakul'tetiv. U 3-kh ch. Ch. 1, - . - Zaporizhzhia, ZDMU, 2019. - 103 s.
- [3] Böck C. ECG Signal Analysis based on the Wavelet Transform : MASTER'S THESIS. Graz, 2015. 101 p.
- [4] Tverdokhlib Yu. V. Metody ta informatsiina tekhnolohiia kompleksnoho otsiniuvannia parametriv veivlet-peretvorennia nestatsionarnykh syhnaliv : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.06. Zaporizhzhia, 2018. 178 s.
- [5] N.H. Ivanushkina, K.O. Ivanko Tsyfrova obrobka nyzkoamplitudnykh komponent elektrokardiosyhnaliv: Navch. posib /. - K.: NTUU "KPI", 2014. - 182 c.
- [6] N.S. Davydov, A.H. Khramov Obnaruzhenye infarkta miokarda s ispolzovaniem veivlet analiza EKH sygnala , Nauky o dannykh s.2143-2148
- [7] Lagun I., Nakonechnyy A., Samoty V. "Using fuzzy logic to optimise the selection of mother wavelets" Kracow University of Technology, Technical Transactions, Issue 3, Volume 2018 ((115), 107 - 114pp.
- [8] Nakonechnyy A.I., Lahun I.I., Veres Z.Ie., Nakonechnyy R.A., Fedak V.I. «Teoriia i praktyka obroblynnia syhnaliv u malokhvylovii (wavelet) oblasti» / Monohrafia. - Lviv: Rastr - 7, 2020 - 470s.
- [9] Lahun I.I. Bahatokryterialna optymizatsiia vyboru bazovykh funktsii v protsesi malokhvylovoho peretvorennia syhnaliv / Lahun I.I., Nakonechnyy A.I. // Naukovyi zbirnyk Ukrainskoi akademii drukarstva "Kompiuterni tekhnolohii drukarstva" -Lviv. 2017. № 37- S.63 - 67.
- [10] Surda, Jozef & Lovas, Stanislav & Pucik, Jozef & Jus, Milan. (2007). Spectral Properties of ECG Signal. 2007 17th International Conference Radioelektronika. 1-5. 10.1109/RADIOELEK.2007.371653.
- [11] Banerjee, Swati & Mitra, Madhuchhanda. (2014). Application of Cross Wavelet Transform for ECG Pattern Analysis and Classification. Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on. 63. 326-333. 10.1109/TIM.2013.2279001.
- [12] Haque, A.K.M Fazlul & Ali, Hanif & Kiber, Md & Hasan, Md. Tanvir. (2009). Detection of small variations of ECG features using wavelet. Journal of Engineering and Applied Sciences. 4.
- [13] Khoma Yu.V. Klyasyfikatsiia vibroartrohrafichnykh syhnaliv z vykorystanniam khvylykovoho peretvorennia i tekhnolohii mashynnoho navchannia // Visnyk NU «Lvivska politekhnika» - «Informatsiini systemy ta merezhi». - 2019. №5. s. 40-52.
- [14] Khoma Y., Szmajda M., Pelc M. Development of scientific-methodological approaches of machine learning application in biosignals processing // Herald of Advanced Information Technology. 2020, Vol. 3, No.1. p. 383-394.

Pattern matching with a compressed shift table

Igor Zavadskiy

Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
ihorza@gmail.com

Anton Zuiev

Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
ant0n3uev@gmail.com

Abstract—This paper is dedicated to developing and implementing a pattern matching algorithm that utilizes a special shift table compressed into a single variable. This allows us to reduce the access time to the shift table elements significantly. We investigate if the reduction of memory access time compensates for the loss of shift length.

Keywords — *pattern matching, algorithm, search window, text processing, search*

I. INTRODUCTION

We investigate the task of finding all occurrences of a string (pattern) in a larger text. All efficient pattern-matching algorithms use shift tables, sometimes more than one. These tables contain information regarding the length or possibility of shifting the search window – a fragment of a text that is compared with the pattern. However, some aspects of shift table usage are often overlooked. Usually, a bigger shift table allows us to perform longer search window shifts on average. However, as a shift table becomes bigger and bigger, so increases the access time to its elements in runtime. Attempts to find a good balance between shift table size and shift length have been done in many pattern-matching algorithms, in particular, in recently developed algorithm families Z_k and RZ_k [1]. In general, it is desirable to fit a shift table into L1 cache. In this paper, we try to optimize shift table memory usage to an extreme and fit the whole table into one 64-bit variable that is stored in a processor register. Of course, such a dramatic reduction of the shift table size causes many search mismatches and could be efficient for short patterns only.

II. SHIFT TABLE

In this work, the following notations are used:

T – text, n – text length, P – pattern, m – pattern length, Σ – alphabet, $|\Sigma|$ – alphabet size.

Let's declare the shift table in the 64-bit integer variable in the following way:

$$shifts = 2^{P[0]\&63} | 2^{P[1]\&63} | \dots | 2^{P[m-1]\&63} \quad (1)$$

This basically means that if some character c belongs to the pattern, then $shifts \& 2^{c\&63} = 2^{c\&63}$. However, the inverse statement will only be true if $|\Sigma| \leq d$. Otherwise, the collision may occur, i.e., the situation when equality $shifts \& 2^{c\&63} = 2^{c\&63}$ holds, but the character c does not belong to the pattern.

Constructing a shift table this way guarantees that if the character c in the end (or start, depending on the direction of a

shift) of a search window $shifts \& 2^{c\&63} = 0$, then the character c is not present in the pattern. Therefore, it is safe to perform a shift of the length m .

III. ALGORITHMS

The pseudocode of the search algorithm that uses this shift table is given below.

ALGORITHM 1. (CSA)

```
searchWindowPos = m - 1;
while searchWindowPos < n:
    while shifts & 2T[searchWindowPos] & 63 = 0
        searchWindowPos += m;
    checkForMatch(searchWindowPos);
    searchWindowPos += shift(searchWindowPos);
```

In the inner loop, we shift the search window by the pattern length until possible. After exiting this loop, a potential match should be checked, and the search window must be shifted using some known method (function *shift*), e.g. QuickSearch [2].

In further, let us call this algorithm the Compressed Shifts Algorithm (CSA). This pseudocode leaves space for variations. Depending on the choice of the shift method after exiting the inner loop (that may also be incorporated into *checkForMatch* to perform effective shifts in cases of match/not match), there maybe be some variations of performance. For this works simple shift based on the rightmost occurrence of $T[searchWindowPos+1]$ in the pattern is used.

The 2-sliding windows approach [3] allows cutting the number of times the outer loop is executed approximately 2 times, and while it slightly complicates the inner logic, results show it's worth it. Often versions with more sliding windows operate even faster, but it's out of the scope of this work. The 2-sliding window version of the search algorithm is given below (CSA-w2).

ALGORITHM 2. (CSA-w2)

```
searchWindowPos0 = n / 2;
searchWindowPos1 = m - 1;
while searchWindowPos0 < n
    while shifts & 2T[searchWindowPos0] & 63 = 0 and
        shifts & 2T[searchWindowPos1] & 63 = 0
        searchWindowPos0 += m;
        searchWindowPos1 += m;
```

```

checkForMatch(searchWindowPos0);
checkForMatch(searchWindowPos1);
searchWindowPos0 += shift(searchWindowPos0);
searchWindowPos1 += shift(searchWindowPos1);
while searchWindowPos1 < n/2
while shifts & 2T[searchWindowPos1] & 63 = 0;
    searchWindowPos1 += m;
checkForMatch(searchWindowPos1);
searchWindowPos1 += shift(searchWindowPos1);

```

The given algorithms work well when maximal length shift in the inner loop occurs quite often. For this to happen, a random character from the text (or more specifically, a character by modulo 64) should not be in the pattern. And for this, the pattern must be short and/or the alphabet large. After reaching the alphabet size when collisions occur ($|\Sigma| \geq 64$), a further increase will have a little or negative effect on the performance.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

Let us present the experimental results of the comparison of different algorithms' performance. As the base for the comparison, we use the following methods: EBOM [4], SBNDM2 [5], and RZ13-W2 [1].

The tests were performed on the randomly generated data (both pattern and text). To ensure search requests actually have some matches, on average, 20 matches were inserted in random positions in the text. The length of the text is 500,000 characters, time is given in milliseconds and averaged over 200 runs of each algorithm on a computer with AMD Ryzen 5 5600H processor.

TABLE I – $|\Sigma|=32$

Algorithm	Pattern length				
	2	3	4	5	6
CSA	238.61	212.49	195.95	175.83	176.59
CSA-w2	179.52	163.51	162.3	153.18	159.15
EBOM	255.16	130.85	90.13	67.7	57.76
SBNDM2	264.42	134.8	94.96	69.45	60.17
RZ13-w2	174.34	115.72	88.12	70.05	61.43

TABLE II – $|\Sigma|=64$

Algorithm	Pattern length				
	2	3	4	5	6
CSA	169.35	130.61	115.92	104.7	96.92
CSA-w2	122.41	95.28	89.59	83.68	80.96
EBOM	267.86	136.32	92.26	75.41	56.72
SBNDM2	265.52	133.19	90.31	67.75	54.98
RZ13-w2	134.01	88.66	67.28	54.67	46.59

TABLE III – $|\Sigma|=128$

Algorithm	Pattern length				
	2	3	4	5	6
CSA	161.87	121.82	106.82	97.83	85.45
CSA-w2	112.68	93.4	87.27	83.6	77.53
EBOM	275.13	141.93	91.84	75.04	59.02
SBNDM2	271.01	140.52	90.22	72.86	56.93
RZ13-w2	114.31	77.87	57.52	48.49	40.28

TABLE IV – $|\Sigma|=256$

Algorithm	Pattern length				
	2	3	4	5	6
CSA	157.01	123.77	106.88	94.89	88.44
CSA-w2	126.74	102.88	90.18	81.81	78.62
EBOM	268.68	136.77	91.6	70.46	57.99
SBNDM2	314.61	146.49	98.1	74.36	54.5
RZ13-w2	113.72	73.44	55.18	45.38	36.39

V. CONCLUSION

A novel method of exact pattern matching based on using an ultra-short shift table has been investigated. This table fits into a 64-bit processor register, which significantly reduces operation time. As experiments show, our method performs well on short patterns and long alphabets. The 2-sliding windows version is faster than the basic one and, on alphabets consisting of 64 or 128 elements, for the shortest possible pattern, it outperforms all other discussed methods. However, generally, it is still slightly behind the state-of-the-art algorithms in practice. Our algorithm has some potential for improvement by choosing more efficient shifts in case of the potential match, attempting multiwindow versions with more than 2 windows, etc.

REFERENCES

- [1] I.O. Zavadskiy, "Fast Exact Pattern Matching by the Means of a Character Bit Representation", SN Computer Science, Topical Issue "String Processing and Combinatorial Algorithms", vol. 3:181, 2022.
- [2] Hume, A., Sunday, D. Fast string searching. Softw. Pract. Exp., vol. 21(11), pp. 1221–1248, 1991.
- [3] Hudaib, A., Al-khalid, R., Suleiman, D., Itriq, M.A.A., Al-Anani, A. A fast pattern-matching algorithm with two sliding windows (TSW). Journal of Computer Science, vol. 4(5), pp. 393–401, 2008.
- [4] Faro, S., Lecroq, T. Efficient variants of the backward-oracle-matching algorithm. Proceedings of the Prague Stringology Conference, J. Holub and J. Zdarek, Eds. Czech Technical University in Prague, Czech Republic, pp. 146–160, 2008.
- [5] Durian, B., Peltola, H., Salmela, L., Tarhio, J. Bit-parallel search algorithms for long patterns. 9th International Symposium on Experimental Algorithms. Ischia Island, Naples, Italy, Springer, pp. 129–140, 2010.

Новий алгоритм вибору розмірності перетворення при кодуванні зображень

Ярослав Луц

Відділ оптимізації чисельних методів
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
rorr-t@ukr.net

A new algorithm for choosing the order of transform for encoding images

Yaroslav Luts

Department of Optimization of Numerical Methods
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
rorr-t@ukr.net

Анотація—Запропоновано новий спрощений швидкодіючий алгоритм для вибору розмірності перетворення кодеків зображень. В рамках розробки спрощеного швидкодіючого кодека зображень для інтернету речей та обробки в реальному часі запропоновано замість існуючих алгоритмів оцінки співвідношення сигнал/шум використовувати такий маркер міжпиксельної кореляції, як різниця між максимальним та мінімальним значеннями пікселів в блоці. В результаті використання такого простого підходу нема потреби робити пряме та обернене перетворення з метою подальшої оцінки співвідношення сигнал/шум, що значно зменшує обчислювальну складність процесу вибору розмірності перетворення для кодування.

Abstract— A new simplified high-speed algorithm for choosing the order of transform of the image codec is proposed. As part of the development of a simplified high-speed image codec for the Internet of Things and real-time processing, it is proposed to use such a marker of inter-pixel correlation as the difference between the maximum and minimum values of the pixels in the block instead of the existing algorithms for estimating the signal/noise ratio. As a result of using such a simple approach, there is no need to perform direct and inverse transform for the purpose of further evaluation of the signal-to-noise ratio, which significantly reduces the computational complexity of the process of choosing the order of transform for encoding.

Ключові слова— *high-speed codec, signal/noise estimation algorithm, simplified algorithms, interpixel correlation.*

Keywords— *contours, delta algorithm*

I. ВСТУП

Адаптивний кодек зображень, що має режими підвищеної швидкодії за умов значних обмежень на

обчислювальні ресурси при роботі в реальному часі є актуальним напрямком сучасних досліджень. Основні області застосування швидкодіючого спрощеного кодека зображень (та відеокодека на його основі) – інтернет-речей та передача даних в режимі реального часу для користувачів, які мають обмеження на потужність обчислювальних ресурсів чи ресурс акумуляторів.

Підвищення швидкодії кодування зображень та відео закономірно призводить до зменшення коефіцієнту компресії даних. Відповідно, при необхідності збільшення швидкодії зазвичай використовувались кодеки зображень та відео попередніх поколінь, версій. Але при цьому виникає задача оптимізації алгоритмів кодування, з метою знайти оптимальне співвідношення між коефіцієнтом стиснення та обчислювальними витратами.

В напрямку розробки швидкодіючого спрощеного кодека зображень було запропоновано використати наступні підходи: зменшення кількості алгоритмів, спрощення алгоритмів. Наприклад, зменшення кількості алгоритмів означає зменшення кількості алгоритмів передбачення значень пікселів, або зменшення кількості перетворень різної розмірності, які адаптивно обираються. Найбільш швидкодіючим варіантом є вибір лише одного алгоритму передбачення значень пікселів та одного перетворення. Але в режимі вибору з двох алгоритмів чи двох перетворень необхідно обчислювати співвідношення сигнал/шум для кожного варіанту, з метою вибору оптимального. Цей алгоритм також є досить складним з точки зору обчислень, тому є доцільним знайти спрощений аналог, який буде достатньо ефективним для оцінки якості алгоритму чи перетворення для вибору одного з них. Такий алгоритм запропоновано в даній роботі.

II. ОПИС АЛГОРИТМУ ОЦІНКИ СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ШУМ

Відомі алгоритми вибору перетворень

Одним із алгоритмів вибору розмірності перетворення є обчислення співвідношення сигнал/шум (SNR), іншим – обчислення середньоквадратичної похибки (Mean Squared Error, MSE). Також існують інші показники, які можуть використовуватися разом з MSE [1] або замість нього, такі як середня абсолютна похибка (Mean Absolute Error, MAE).

Крім обчислювальної складності даних алгоритмів, потрібно враховувати загальну процедуру вибору розмірності перетворення, обчислювальна складність якої складається з обчислення перетворень різної розмірності, обчислення та порівняння між собою значень співвідношення сигнал/шум для кожного перетворення.

Новий алгоритм вибору перетворень

Оскільки для різних зображень (а також різних областей зображення) кореляція між пікселями одного блоку є різною, і спостерігається відома закономірність у виборі розмірності перетворення – чим вища кореляція, тим більша розмірність перетворення обирається, то виникає питання, як можна швидко оцінити рівень кореляції між пікселями з мінімальними витратами. Найпростішим алгоритмом для цього є оцінка різниці між максимальним та мінімальним значенням пікселів в блоці.

Відповідно, чим більший перепад значень пікселів в блоці, що обробляється, тим нижча кореляція між ними.

Таким чином, у випадку вибору між перетвореннями двох розмірностей (наприклад, перетворення розмірності 8 для низької кореляції, та перетворення розмірності 32 для високої кореляції) достатньо визначити порогове значення P , з яким порівнювати діапазон значень пікселів кожного блоку – якщо різниця між мінімальним та максимальним значеннями пікселів менша P , це означає високу кореляцію, і обирається перетворення розмірності 32, у протилежному випадку – перетворення меншої розмірності.

III. ПОРІВНЯННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ТА ІСНУЮЧОГО АЛГОРИТМІВ ВИБОРУ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Порівняємо обчислювальну складність запропонованого та відомого алгоритмів вибору перетворень.

MSE, як відомо, можна розрахувати за формулою:

$$MSE = (1/n) \sum (y - \hat{y})^2$$

Тобто спочатку до блоку пікселів потрібно застосувати 2D перетворення розмірності 32, потім виконати обернене перетворення, отримати відновлені значення та обчислити різниці між оригінальними та відновленими значеннями, звести їх до квадрату, просумувати та поділити на 1024 (кількість пікселів блоку розміром 32).

Відповідно, основна обчислювальна складність буде складатись з обчислення прямого та оберненого

перетворення розмірності 32 (як відомо, для кожного з них потрібно більше 40 тис. операцій [2]). Навіть у випадку використання альтернативних спрощених перетворень розмірності 32, для яких кількість обчислень у 20 разів менша [3], все одно отримаємо як мінімум 4 тисячі операцій (для двох перетворень – прямого та оберненого).

Обчислення MSE для блоку розмірності 32 буде складатись з тисячі операцій по обчисленню різниць між оригінальними та відновленими значеннями пікселів, з тисячі операцій множення (зведення до квадрату) та тисячі операцій сумування квадратів різниць. Відповідно – більше трьох тисяч операцій в цілому для обчислення MSE, та більше 7 тисяч операцій з урахуванням прямого та оберненого перетворення.

На фоні таких обчислювальних витрат обчислення мінімального та максимального значення пікселів блоку та різниці між ними є помітним результатом зменшення обчислювальної складності.

IV. ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА ЗАПРОПОНОВАНОГО АЛГОРИТМУ ВИБОРУ РОЗМІРНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ

Порівняємо запропонований алгоритм та відомі за додатковими критеріями оцінки, крім обчислювальної складності. Основний критерій – точність алгоритмів, тобто порівняння співвідношення застосування перетворень розмірності 8 та 32 для обох алгоритмів вибору, та оцінки наслідків недостатньої точності спрощеного алгоритму. Як відомо, перетворення розмірності 32 краще стискає високорельовані дані, а перетворення розмірності 8 – краще стискає низькорельовані дані. Внаслідок використання алгоритмів передбачення значень пікселів міжпіксельна кореляція даних значно зменшується, відповідно, різниця між результатами використання перетворення різних розмірностей стає незначною. Крім того, перетворення розмірності 32 має вищу щільність компресії інформації, тобто на одиницю інформації в коефіцієнтах перетворення припадає більша кількість початкової інформації.

Відповідно, похибка збільшить кількість використання перетворення розмірності 8, яке має вищу точність, або призведе до збільшення компресії і збільшення похибки відновлення, у разі збільшення частоти розмірності 32.

Висновки. Запропонований алгоритм вибору розмірності перетворення відзначається простотою реалізації, і може застосовуватись для адаптивних режимів підвищеної швидкодії кодеків зображень.

REFERENCES

- [1] P. Rafael C. Gonzalez • Richard E. Woods. Digital Image Processing, 2005 – 1007c
- [2] A. Fuldseth, G. Bj_integaard, M. Budagavi, and V. Sze, "CE10: Core transform design for HEVC," Doc. JCTVC-G495. Geneva, CH
- [3] Hnativ, L.O. Simple High-Order Integer Cosine Transform for High-Resolution Video Coding. Cybern Syst Anal 54, 490–501 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10559-018-0050-z>

Some problems of unification the laws of information theory

Petro Trokhimchuck

Anatolii Svidzinskijii department of theoretical and computer physics

Lesya Ukrainka Volyn National University

Lutsk, Ukraine

Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua; trope1650@gmail.com

Abstract—The problem the unification information laws is discussed. The theory of information-physical structures is taken as a basis, in which the basic laws of physics and information theory are synthesized with the help of de Broglie's formula from the thermodynamics of a point. It is shown that this concept most fully satisfies the needs of modern information theory.

Keywords— *information-physical structures; information laws; action law; Shannon theorem; de Broglie formula; entropy law; unification*

I. INTRODUCTION

The problem of unifying the laws of information theory is closely related to the development of theoretical and mathematical physics [1-10]. It was in physics that the first universal laws were formulated: Fermat's principle (eiconal theory) [1, 9], action principle of least action [1], the second law of thermodynamics [7, 8].

In his research, C. Shannon derived a quantity that had the same properties as entropy, and on the recommendation of J. von Neumann, he named it entropy (information entropy), and the law itself was named information entropy [2-4]. At the same time, a similar law was formulated in non-equilibrium thermodynamics, which was named the Prigozhin-Glensdorff principle [7, 8]. Later, Yu. Klimontovich built the theory of open systems on the basis of this principle [10].

Further unification is associated with the use of L. de Broglie's formula from the thermodynamics of a point [5], which was interpreted as the principle of equality of ordered and disordered information for a closed system [7, 8]. This made it possible to consider all the principles of deterministic and stochastic science from a single point of view [7, 8].

Also, on the basis of Rayleigh's principle of observability and the principle of uncertainty, the theory of information-physical structures [6] was built, which allowed a deeper understanding of the connection between theoretical physics and information theory.

On the basis of these studies, criteria were developed both for the construction of a more general theory of open systems and for the characterization of such phenomena as the vacuum [7, 8].

II. MAIN RESULTS AND DISCUSSIONS

It should be noted that besides the Newtonian synthesis program in physics there are some modifications [7, 8]. In contrast to classical representations that exist in cybernetics and physics, the theory of information and physical structures is the synthesis of physical and information theory. The following problem is practically addressed: is it not possible to construct the theory so that it is based on both informational and physical laws and principles. Such a program was implemented in the theory of information and physical structures [6], the main element of which is the Rayleigh ratio. We give it in a one-dimensional form:

$$\Delta k \cdot \Delta x = \Delta \omega \cdot \Delta t = 1. \quad (1)$$

When multiplying this relation by h (Planck constant) and changing the sign of equality to a sign greater than-equal, then we have

$$\Delta p \cdot \Delta x = \Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar. \quad (2)$$

It is nothing more than a mathematical expression of the principle of complementarity and of the uncertainty principle. If we put equal signs in formulas (1) and (2), we will get a mathematical expression of the conditions of classical and quantum coherence.

If we change the signs to differentials and use linear differential forms, we will get the theory of information-physical structures [6].

Recall that the relation (1) is a condition of observation of a unit wave. In the theory of information-physical structures, it is considered as a quantum of change of dimensionless physical measure.

Thus, the relation (2), which is analogous to the Rayleigh ratio, can be regarded as a spatial-temporal representation of dimensionless entropy, as well as dimensionless action. They are equivalent to the de Broglie ratio

$$\frac{S_a}{\hbar} = \frac{S_e}{k_B} = S_g \quad (3)$$

about the equality of ordered and disordered information in closed system. Here S_a is an action, S_e – entropy, \hbar – Planck constant, k_B – Boltzmann constant [5, 7, 8]. Therefore, it makes sense to consider dimensionless relations not as elements of

dimensionless entropy or action, but as elements of a generalized information [7, 8].

As shown in [7, 8], with this measure one can generalize the concept of physical vacuum. Indeed, in modern physics, this concept plays a very important role. There are three basic types of vacuum. This is Newtonian ether – a completely elastic environment in which all known physics interactions can be described and described; In electromagnetism (the quantum field theory also), this is a space-time continuum with $\varepsilon = 1$ and $\mu = 1$ (where ε, μ – the relative dielectric and magnetic permeability of the medium). W. Pauli [7, 8], by the way, considered an electromagnetic vacuum as a kind of ether. The third kind of vacuum is cosmological, which is main in cosmology.

In [7, 8], the view was expressed that an electromagnetic vacuum is mainly a dynamic environment, and Newtonian ether is static.

According to [7, 8], we introduce the concept of vacuum from a polymetric analysis.

Definition 1. A generalized vacuum is the state of a system in which the change of the generalized measure is zero.

Here are examples:

1. Ether of Newton – Mach. The reference system – the absolute and spatial-temporal measure is also absolute, so the change of this measure is zero.

2. Electromagnetic vacuum. Measure is the quantum of action Planck constant h , $\delta h = 0$.

3. The theory of informational-physical structures: the measure is or dimensionless entropy, or action, the vacuum states will be states with $\delta S_g = 0$ and $\delta S_a = 0$.

From the latter, the role of the principle of dynamic equilibrium is very clearly visible: it is the principle of equilibrium between physics and information. Entropic representations and the principle of dynamic equilibrium itself can be summarized as follows (for a generalized measure we denote S_g):

$$\delta S_g > 0; \quad S_g > 0; \quad (4)$$

$$\delta S_g < 0; \quad S_g < 0; \quad (5)$$

$$\delta S_g = 0; \quad S_g = 0; \quad (6)$$

The relation (4) is nothing more than the action principle, the Carnot principle, the Prigogine-Glensdorff principle, the uncertainty principle, criterion of open systems [7, 8]. The relation (5) is a generalization of the negentropic principle of the theory of information, principles of classic and quantum coherence theories, etc. Expression (6) is the condition for the existence of vacuum: $\delta S_g = 0$ is relative, $S_g = 0$ is absolute.

Thus in the theory of information-physical structures and in this section in terms of laws the most general unification was carried out.

Here are some thoughts on the relationship between physics and information theory. Consider a more detailed relationship $S_g = kx - \omega t$.

In fact, if $S_g > 0$, that is, $kx > \omega t$, then the structure changes, which means that over time the structural part of the measure increases, that is, it increases its entropy, action, etc. When $S_g < 0$, this means that the structural part of the measure of relatively intense (frequency-time) changes little, so physical processes pass at a different speed than information [7, 8].

As we see at the level of laws, physics and information theory are synthesized and thus, using the example of physics, they showed that any theory is also informative.

III. CONCLUSIONS

1. The problem of unification main laws of information theory is discussing.
2. We show that this problem is connecting with similar problem of theoretical physics.
3. The Rayleigh and uncertainty principles were using for the creation theory of informative-physical structures.
4. The modified de Broglie formula allows introducing a dimensionless quantity that shows a deeper connection between ordered and disordered phenomena, as well as between physical and informational processes.
5. Place of this concept in modern science and possible influence on its development are analyzing too.

REFERENCES

- [1] L. Pollack (ed.) Variational principles of mechanics. Moscow: SPPML, 1959. (In Russian)
- [2] I. V. Kuzmin, V. A. Kedrus. Fundamentals of information theory and coding. Kiev: Higher school, 1986 (In Russian)
- [3] C. Shannon. Works on the theory of information and cybernetics. Moscow: IL. 1963. (In Russian)
- [4] L. Brillouin Science and Information Theory. New York: Courier Corporation, 2004.
- [5] L. De Broglie. "Thermodynamics of isolated point (Hidden thermodynamics of particles)." In: L. de Broglie. Collected papers, vol. 4. Moscow, Print-Atel'e, 2014, pp. 8 – 111. (In Russian)
- [6] P. Trokhimchuck. "Theory of informative calculations: necessity of creation and problems of development," *Bulletin of Kherson National Technical University*, vol. 54, no. 3, pp. 57-61, September 2015
- [7] P. Trokhimchuck. Theory of Everything: Past, Present, Future. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2021.
- [8] P. Trokhimchuck. Polymetric Analysis. Hutory, Concepts, Applications. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2018.
- [9] L. D. Landau, E. M. Lifshits. The Classical Theory of Fields. Landau L. D., Lifshits E. M. Course of Theoretical Physics. Vol.2. New-York a.o.: Pergamon Press Ltd. a. o., 1971.
- [10] Yu. L. Klimontovich. Introduction to physics of open systems. – Moscow, Yanus, 2002. (In Russian)

Model of the database of the intelligent system for the research of space weather parameters

Danylo Ivantyshyn
Department of Information Systems and Networks
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
danylo.ivantyshyn@gmail.com

Модель бази даних інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди

Данило Івантишин
кафедра інформаційних систем та мереж
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
danylo.ivantyshyn@gmail.com

Анотація—Проведено аналіз предметної області, на основі якого визначено основні сутності індексів космічної погоди, їх атрибути та зв'язки між ними. Побудовано ER-діаграму та розроблено логічну схему бази даних інтелектуальної системи дослідження параметрів космічної погоди.

Abstract—An analysis of the subject area was carried out, on the basis of which the main essences of space weather indices, their attributes and connections between them were determined. An ER-diagram was constructed and a logical scheme of the database of the intelligent system for the research of space weather parameters was developed.

Ключові слова—база даних інтелектуальної системи; моделювання бази даних; сонячна активність; космічна погода.

Keywords—intelligent system database; database modeling; solar activity; space weather.

I. INTRODUCTION

Space weather is a multidisciplinary research field that investigates solar-terrestrial interactions and their implications for technological systems and human health. Because of the variety of space weather factors, it is of the utmost significance to research the physical processes that are responsible for the most significant repercussions and impacts of space weather [1].

An example of how space weather can have significant practical and financial consequences is SpaceX's loss of 38 of 49 satellites due to increased neutral atmospheric density associated with a geomagnetic storm on February 3–4, 2022. Although this

was SpaceX's 36th launch in the past 3 years, it was the first to experience stormy space weather [2, 3].

The vulnerability of society to the risks associated with space weather will obviously increase with the daily increase in demand for high-tech communication, navigation, and other means of communication, and this requires a deeper study of the physics of the Sun, the impact of solar activity on near-Earth space, and the development of reliable systems for forecasting space weather for different time scales.

Space weather monitoring is done using a global network of ground stations as well as from space, which is complementary [4].

The development of a database for an intelligent system for the study of space weather parameters will enable the downloading of information on the state of space weather from Internet resources of the network of ground and space stations, information on sporadic solar radio emissions, and information on the atmospheric electric field and infrasound obtained at the PMI of the NAS of Ukraine and LC of ISR of the NAS of Ukraine and the SSA of Ukraine, which will facilitate the processing of information.

Thus, the development and creation of a database of an intelligent system for the study of space weather parameters is an urgent problem and has practical significance.

II. DATABASE MODEL

The database design process begins with a study of the task from a perspective of the subject area, as well as the defining of the entities that will comprise the database and their

relationships. Any fragment of the subject area can be represented as an array of entities correlated together by a certain set of relationships. The subject area's ER diagram is composed of from a number of entities, attributes, and relationships [5].

Elements of each of these sets are represented by graph nodes for which we use special forms to determine their type: entities are represented by rectangles; connections are represented by lines connecting entities.

During the analysis of the subject area, the main indexes of space weather were determined:

- solar wind, characterized by density and speed;
- indices of the Wolff number;
- radio emission characterized by intensity;
- interplanetary magnetic field, which is characterized by the Bz component;
- coronal mass ejections characterized by velocity and angular width;
- solar cosmic rays characterized by density;
- galactic cosmic rays characterized by density;
- magnetic storm characterized by the geomagnetic index Dst;
- magnetic substorm characterized by the geomagnetic index AE;
- atmospheric infrasound, which is characterized by the amplitude of oscillations;
- atmospheric electric field characterized by the Ez component.

This entity-relationship diagram was created using the SqIDBM modeling tool. It additionally ought to be noted that the ERD model (Fig. 1) is written in IDEF1X notation.

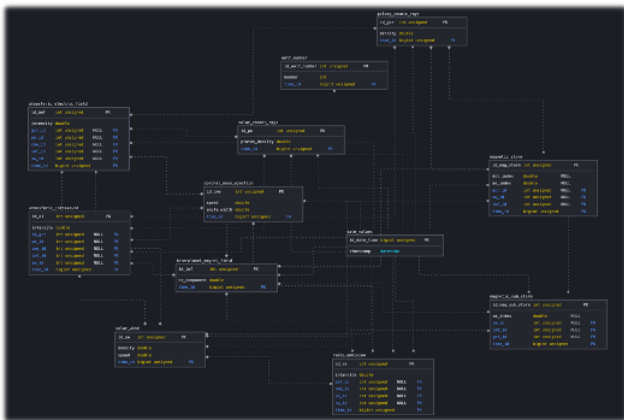


Fig. 1. ERD model of the database of the intelligent system.

The creation of a data logic model (Fig. 2) involves converting to a data model that will be compatible with the selected database management system. As a result of the operation, we have a working database of an intelligent system for researching space weather parameters.

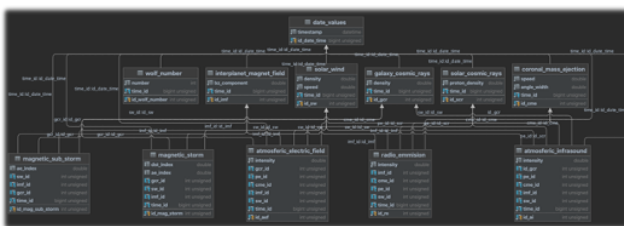


Fig. 2. Datalogical model of the database of the intelligent system.

III. STRUCTURE OF THE INTELLIGENT SYSTEM FOR THE RESEARCH OF SPACE WEATHER PARAMETERS

The client-server intelligent system consists of a database, server software; front-end user software; application software.

The user interacts with the Intelligent System for Researching Space Weather Parameters through the front-end & system server to be provided with the necessary information about the state of space weather.

To accomplish this, the User navigates to a web page and requests the necessary data. At the same moment, an appropriate REST request is sent to the Server, which evaluates it and generates a request to the Database. The database delivers a sample of data to the Server, that converts it to the object's JSON wrapper and sends it to the User. As a result, the Intelligent Space Weather Parameters Research System User receives the necessary data on helio- and geophysical activity parameters. In order to conduct scientific research with the aim of identifying new helio-geophysical connections and forecasting the state of space weather.

IV. CONCLUSIONS

Based on the analysis of the subject area, the main essences of the space weather indices, their attributes and the connections between them are determined. An ER-diagram was constructed and a logical scheme of the database of the intelligent system for the study of space weather parameters was developed.

The creation of a database of an intelligent system for the study of space weather parameters allows downloading data on the state of space weather from the Internet resources of the network of ground and space stations, data of solar radio emission, atmospheric infrasound and electric field obtained at the PMI of the NAS of Ukraine and LC of ISR of the NAS of Ukraine and the SSA of Ukraine, which in turn, it will allow to analyze information about the state of space weather, as well as to reveal new connections between indicators of helio- and geophysical phenomena.

Thus, the development and creation of a database of an intelligent system for the study of space weather parameters is an urgent problem and has practical significance.

REFERENCES

- [1] Buzulukova N. Space Weather: From solar origins to risks and hazards evolving in time / Buzulukova N., Tsurutani B. // *Front. Astron. Space Sci.* – 2022. – V.9, 1017103. doi: 10.3389/fspas.2022.1017103.
- [2] Hapgood M. SpaceX-Sailing close to the space weather? / Hapgood M, Liu H, Lugaz N. // *Space Weather* – 2022. – V.20, e2022SW003074. <https://doi.org/10.1029/2022SW003074>.
- [3] Fang T.-W. Space weather environment during the SpaceX Starlink satellite loss in February / Fang T.-W., Kubaryk A., Goldstein D., et al. // *Space Weather*. – 2022. – V.20, e2022SW003193. <https://doi.org/10.1029/2022SW003193>.
- [4] *The Sun and Space Weather (Astrophysics and Space Science Library) (Second Edition)* by A. Hansmeier. 326 Pages, 2008.
- [5] Pasichnyk V.V. *Organization of databases and knowledge* / V.V. Pasichnyk, V.A. Reznichenko. - K.: BHV Publishing Group, 2006. 384 p.

Приклад дослідження зв'язності вхідних і вихідних впливів підсистем у великих системах

Олександр Малько
кафедра прикладного програмування та обчислення
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
Malko.pochta@gmail.com

Андрій Семенчук
кафедра прикладного програмування та обчислення
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
andrisssem333@gmail.com

An example of research on the connectivity of input and output influences of subsystems in large systems

Oleksandr Malko
Department of Applied Programming and Computing
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
malko@pochta.ru
department of programming and computing

Andriy Semenchuk
Department of Applied Programming and Computing
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
andrij-olijnyk@rambler.ru

Анотація - Представлено приклад дослідження зв'язності вхідних і вихідних впливів підсистем у великих системах, що відповідає імітації розповсюдження зовнішніх впливів у великих системах. Запропонований алгоритм визначення зв'язності вхідних і вихідних впливів різних підсистем.
Ключові слова — модель, вплив, інформація, зв'язність, графи, компоненти зв'язності

Abstract - An example of the study of the connection of input and output influences of subsystems in large systems is presented, which corresponds to the simulation of the distribution of external influences in large systems. The proposed algorithm for determining the connectivity of input and output influences of various subsystems.
Keywords — model, influence, information, connectivity, graphs, connected component

I. ВСТУП

Задачі дослідження реакції на зовнішні впливи багатозв'язних систем на рівні підсистем виникають при вирішенні проблем прогнозування і управління у системах різної природи. Особливо актуальною ця проблема є при дослідженні складних інформаційних систем, а саме великих організаційних систем, які як правило, мають багатозв'язну структуру. Прикладом може бути дослідження розповсюдження впливу прийняття конкретних керуючих рішень на реакції різних структурних компонент (підсистем) у просторі і часі, на предмет виявлення їх позитивного чи негативного характеру[1].

II. ФОРМАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

Досліджувана система E подається задається множиною підсистем E^i ($i = 1 \dots n$), та їх вхідними $\mathbf{x}^i = (x_1^i, x_2^i, \dots, x_{k_i}^i)$ та вихідними $\mathbf{y}^i = (y_1^i, y_2^i, \dots, y_{m_i}^i)$ впливами. Зв'язок між компонентами вектора входу \mathbf{x}^i і вектора виходу \mathbf{y}^i підсистеми E_i визначається оператором перетворення T_{ii} тобто $\mathbf{y}^i = T_{ii}(\mathbf{x}^i)$. Зв'язок між елементами E^r і E^s тобто між вихідним вектором \mathbf{y}^r і вхідним вектором \mathbf{x}^s визначаються відповідністю S_{sr} ($\mathbf{x}^s = S_{sr}\mathbf{y}^r$). При відсутності взаємодії між елементами $S_{sr} = 0$ [2].

Як приклад розглядається системи, яка складається з трьох підсистем Структура системи $E = \{E^1, E^2, E^3\}$ задана таблицею 1, де кожна підсистема E^k характеризується вектором входу \mathbf{X}^k вектором виходу \mathbf{Y}^k , номера компонент яких вказані у відповідних стовбцях таблиці. Розмірності векторів \mathbf{X}^k і \mathbf{Y}^k вказані у нижніх рядках k -ї під таблиці: $\text{Dim}(\mathbf{X}^k)$ і $\text{Dim}(\mathbf{Y}^k)$. Зв'язки між компонентами векторів входу \mathbf{X}^k і виходу \mathbf{Y}^k у k -тій підсистемі задані першим ($\mathbf{X}^k \Rightarrow$) і другим ($\mathbf{Y}^k \Rightarrow$) стовпцями k -ї під таблиці.

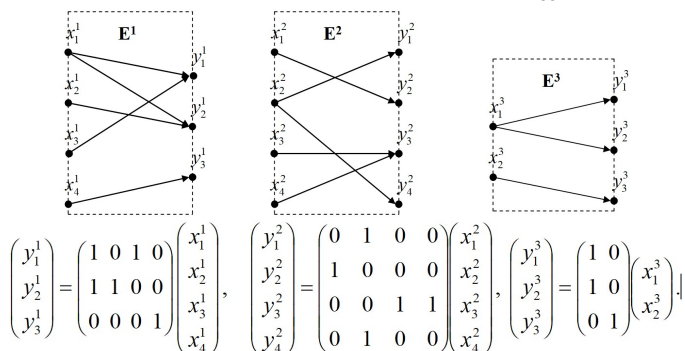
Наявність зв'язки між компонентами вектора виходу \mathbf{Y}^k k -ї підсистеми і компонентами векторів входу інших підсистем \mathbf{X}^i - представлені у k -ій підтаблиці другим ($\mathbf{Y}^k \Rightarrow$), третім ($\Rightarrow \mathbf{X}^i$) і четвертим ($\Rightarrow \mathbf{X}^i$) стовбцями.

ТАБЛИЦЯ 1.

Система E															
Підсистема E ¹				Підсистема E ²				Підсистема E ³							
X ¹ ⇒	Y ¹ ⇒	⇒X ²	⇒X ³	X ² ⇒	Y ² ⇒	⇒X ¹	⇒X ³	X ³ ⇒	Y ³ ⇒	⇒X ¹	⇒X ²				
1,3	1	2	-	2	1	-	1	1	1	1,4	-				
1,2	2	3	-	1	2	2	-	1	2	3	-				
4	3	1	1	3,4	3	-	2	2	3	-	4				
				2	4	2	-								
Dim(X ¹)=4			Dim(Y ¹)=3			Dim(X ²)=4			Dim(Y ²)=4			Dim(X ³)=2		Dim(Y ³)=3	

Зв'язки (інцидентність) між входами і виходами кожної підсистеми можна представити графами і відповідними операторними матрицями T₁₁, T₂₂ і T₃₃.

$$Y^1 = T_{11} \times X^1 \quad Y^2 = T_{22} \times X^2 \quad Y^3 = T_{33} \times X^3$$



Зв'язки (інцидентність) між виходами і входами різних підсистем описуються структурними матрицями S_{ij}.

$$X^2 = S_{21} \times Y^1 \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1^2 \\ x_2^2 \\ x_3^2 \\ x_4^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_3^1 \end{pmatrix}, \quad X^3 = S_{31} \times Y^1 \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1^3 \\ x_2^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^1 \\ y_2^1 \\ y_3^1 \end{pmatrix},$$

$$X^1 = S_{12} \times Y^2 \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ x_3^1 \\ x_4^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \\ y_3^2 \\ y_4^2 \end{pmatrix}, \quad X^3 = S_{32} \times Y^2 \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1^3 \\ x_2^3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^2 \\ y_2^2 \\ y_3^2 \\ y_4^2 \end{pmatrix},$$

$$X^1 = S_{13} \times Y^3 \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1^1 \\ x_2^1 \\ x_3^1 \\ x_4^1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^3 \\ y_2^3 \\ y_3^3 \end{pmatrix}, \quad X^2 = S_{23} \times Y^3 \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1^2 \\ x_2^2 \\ x_3^2 \\ x_4^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1^3 \\ y_2^3 \\ y_3^3 \end{pmatrix}.$$

Узагальнений опис зв'язків у підсистемах і між підсистемами при формування узагальнених векторів: вхідного впливу X виходу Y описується операторною матрицею T і структурною матрицею S:

$$X = \begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ X^3 \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} Y^1 \\ Y^2 \\ Y^3 \end{pmatrix}, \quad T = \begin{pmatrix} T_{11} & 0 & 0 \\ 0 & T_{22} & 0 \\ 0 & 0 & T_{33} \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} 0 & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & 0 & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & 0 \end{pmatrix}.$$

$$T = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix},$$

$$S = \begin{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{pmatrix}.$$

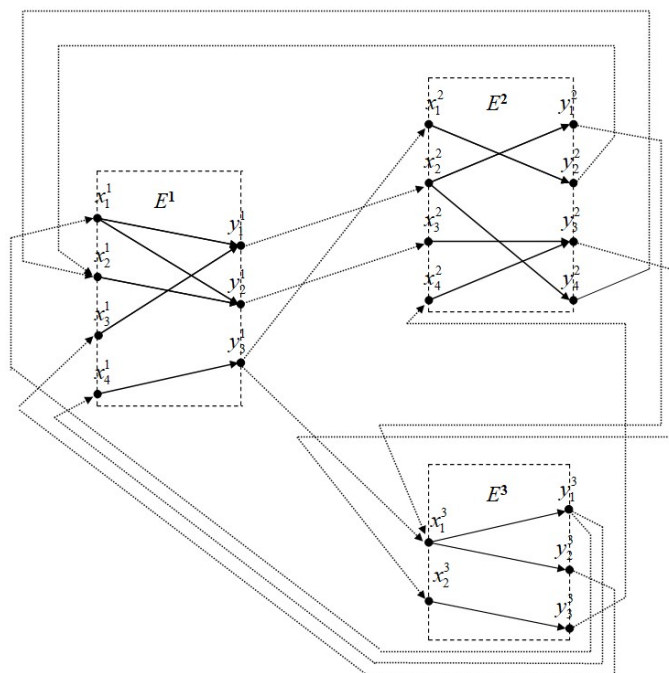


Рис. 1 Структура системи

У загальному Y=TX і X=SY. Нідставивши друге співвідношення у перше, а перше у друге отримаємо матриці відповідності (суміжності) між виходами (вершинами графа Y) входами (вершинами графа X):

X=SY=STX=RX, де R=ST і Y=TX=TSX=PX, де P=TS, що відповідає відображенню попередньому стану системи у наступний.

III. ДОСЛІДЖЕННЯ НА ЗВ'ЯЗНІСТЬ

Розглянемо відображення P яке визначається через кон'юнктивне множення матриць:

$$P = T \times S = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Використаємо положення досяжності і зв'язності з теорії графів [3], [4].:

- матриці P^k орієнтованого графа E дорівнює числу всіх шляхів (маршрутів) довжини k з x_i у x_j.

$$P^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad P^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

$$P^4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, P^5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^6 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}, P^7 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P^8 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}, P^9 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Матриця досяжності орієнтованого графа E - квадратна матриця $T(E)=[t_{ij}]$ порядку n , елементи якої дорівнюють

$$t_{ij} = \begin{cases} 1, & x_j \text{ досяжна з } x_i, \\ 0, & \text{у іншому випадку,} \end{cases}$$

і обчислюється як кон'юнктивна сума степенів матриці P

$$T(E) = \bigvee_{k=1}^{n-1} P^k.$$

$$T(E) = \bigvee_{k=1}^{n-1} P^k = D = E \vee P \vee P^2 \vee \dots \vee P^9 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Матриця сильної зв'язності орієнтованого графа E - квадратна матриця $S(E)=[s_{ij}]$ порядку n , елементи якої дорівнюють:

$$s_{ij} = \begin{cases} 1, & x_j \text{ досяжна з } x_i \text{ і } x_i \text{ досяжна з } x_j \\ 0, & \text{у іншому випадку,} \end{cases}$$

і обчислюється за виразом $F(E)=T(E) \& T^T(E)$, де T^T транспонована матриця, $\&$ - поелементне множення.

$$S = T \& T^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

ВИСНОВКИ

Розроблена імітаційна модель розповсюдження впливів у великих систем, на основі дослідження зв'язності між входами підсистем в процесі послідовних тактів передачі інформації. Запропонований варіант моделі може бути розширений для дослідження часових характеристик проходження інформаційних потоків, дослідження нечітких відношень між підсистемами і всередині підсистем.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Малько О. Г., Олійник Є. А. Моделювання розповсюдження зовнішніх впливів у складних систем високого порядку - "Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання" матеріали міжнародної науково-практичної конференції 23-28 травня 2016 року Івано-Франківськ ст.163-164.
- [2] Дружинин В.В. Системотехника [Текст] / В.В Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985.- 200с.
- [3] Бардачов Ю.М., Соколова Н.А., Ходаков В.Е. Дискретна математика. К.: Вища шк., 2002. – 287 с.
- [4] Малько О.Г. Спеціальні розділи математики: Навчальний посібник. ІФНТУНГ, Івано-Франківськ, 2010. – 320 с.

Особливості поширення впливів складними мережевими системами

Олександр Поліщук

Лабораторія моделювання та оптимізації складних систем, Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача, Національна академія наук України, Львів, Україна
od_polishchuk@ukr.net

Peculiarities of the spread of influences by complex network systems

Olexandr Polishchuk

Laboratory of Modeling and Optimization of Complex Systems, Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
od_polishchuk@ukr.net

Анотація— Аналізуються різноманітні внутрішні та зовнішні негативні впливи, які можуть дестабілізувати структуру та процес функціонування складних мережесистем. На підставі потокової моделі мережевої системи та параметрів впливу її елементів досліджуються можливі сценарії поширення впливу мережею. Отримані результати можуть бути використані для захисту реальних природних та створених людиною систем від цілеспрямованих атак і нецільових уражень різних типів.

Abstract— Various internal and external negative influences that can destabilize the structure and operation process of complex network systems are analyzed. On the basis of flow model of the network system and parameters of influence of its elements, possible scenarios of the spread of influence through the network are investigated. The obtained results can be used to protect real natural and man-made systems from targeted attacks and nontargeted lesions of various types.

Ключові слова— складна мережа, мережева система, вплив, уразливість, цілеспрямована атака, нецільове ураження

Keywords— complex network, network system, influence, vulnerability, targeted attack, non-target lesion

IV. ВСТУП

На кожен природну або створену людиною систему постійно діють різноманітні внутрішні (якщо джерело впливу входить до складу системи) та зовнішні (якщо джерело знаходиться поза системою) впливи [1]. Ці впливи можуть бути позитивними (впровадження новітніх технологій, ко-

рисних громадських ініціатив та законів, сучасних лікувальних практик) або негативними (поширення неправдивої інформації, інфекційних захворювань, військові агресії). Вони можуть мати локальний, груповий або загальносистемний характер, діяти послідовно або одночасно, бути неочікуваними або умовно передбачуваними, централізованими і децентралізованими, впливати на структуру та/або процес функціонування системи тощо [2]. Усі перелічені впливи можуть бути характерними як для цілеспрямованих атак на систему, так і для її нецільових уражень. Труднощі класифікації впливів та способів їх поширення мережевою системою (МС) викликані тим, що різні причини можуть призводити до схожих наслідків (масштаби руйнувань та кількість жертв унаслідок знищення рашистами Маріуполя і землетрусу у Туреччині у січні 2023р. є співмірними) та подібні причини породжувати різні наслідки (епідемії коронавірусів Sars-Cov-1 у 2002 році в Китаї з летальністю 11%, MERS у 2009 році на Близькому Сході з летальністю 34% та Sars-Cov-2 у 2019 році з летальністю 3% з яких лише остання переросла у світову пандемію). Водночас, розуміння того, які впливи можуть уразити конкретну мережеву систему, яким чином ця система реагуватиме на той або інший вид впливу та до яких наслідків він може призвести загалом визначає, які засоби захисту МС необхідно розробити або задіяти для мінімізації наслідків такого впливу [3]. У цій статті за допомогою потокової моделі мережевої системи та визначених на її підставі глобальних потокових характеристик її елементів ми

намагаємося проаналізувати поведінку складних МС залежно від характеру впливу, який на неї діє, та наслідки, до яких такий вплив може призвести.

V. СТРУКТУРНА ТА ПОТОКОВА МОДЕЛІ МЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ

Структурна модель МС, яка зазвичай відображається у виді $G=(V,E)$, де V – множина вузлів та E – множина поєднуючих ці вузли ребер мережі, описується матрицею суміжності $A=\{a_{ij}\}_{i,j=1}^N$, у якій значення $a_{ij}=1$, якщо існує ребро, яке з'єднує вузли n_i та n_j , та $a_{ij}=0$, $i, j = \overline{1, N}$, якщо такого ребра немає, N – кількість вузлів мережі [4]. Потокowa модель мережевої системи описується матрицею суміжності $V(t)$, структура якої є тотожною структурі матриці A . Елементи матриці $V(t)$ визначаються об'ємами потоків, які пройшли ребрами мережі за період $[t-T, t]$ до поточного моменту часу $t \geq T$, де T – заданий проміжок часу. На підставі матриці $V(t)$ ми можемо визначити такі глобальні характеристики вузлів МС, як вхідні та вихідні параметри їхнього впливу на систему [5]. А саме, вхідною (вихідною) силою впливу вузла – кінцевого приймача (генератора) потоків вважатимемо сумарні обсяги потоків, які були прийняті (згенеровані) у цьому вузлі за період $[t-T, t]$; вхідною (вихідною) областю впливу вузла – кінцевого приймача (генератора) потоків вважатимемо сукупність вузлів МС, у яких були згенеровані (кінцево прийняті) спрямовані до (з) нього потоки за період $[t-T, t]$, $t \geq T$; вхідна (вихідна) потужність впливу вузла – кінцевого приймача (генератора) потоків дорівнює кількості елементів областей вхідного (вихідного) впливу цього вузла відповідно. На рис. 1 відображені області вхідного (горизонтальне штрихування) та вихідного (вертикальне штрихування) впливу позначеного прямокутником вузла мережевої системи.

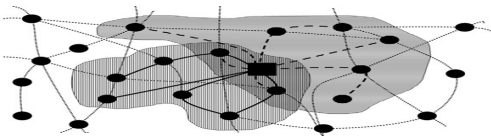


Рис. 1. Области вхідного та вихідного впливу вузла мережевої системи

У соціальних онлайн-сервісах часто зустрічаються так звані бот-мережі [6], за допомогою яких одна особа може створити ілюзію спільної думки багатьох людей, масово розповсюджувати дезінформацію, організувати DDoS-атаки тощо. Відомо, що у найбільш популярних соціальних мережах, щомісячна кількість користувачів яких сягає сотень мільйонів, існують величезні мережі фейкових акаунтів, кількість вузлів окремих з яких перевищує сотні тисяч [7]. Такі бот-мережі часто створюються під час передвиборчих кампаній та можуть спотворювати волевиявлення громадян, вони є потужним інструментом недобросовісної конкурентної боротьби, реклами неякісної продукції або навпаки – антиреклами нових товарів [8]. Сила їх впливу зазвичай різко збільшується у передвиборні періоди

або перед появою на ринку нової продукції та зменшується між цими подіями. Виявлення вузлів-генераторів таких бот-мереж та їх блокування дозволяє запобігати багатьом негативним соціальним та економічним явищам. Параметри впливу вузлів МС дозволяють достатньо точно ідентифікувати генератори бот-мереж, оскільки значення параметрів їх вихідного впливу зазвичай є значно більшими за середньостатистичні по мережі, а вхідного – близькими до нуля. Якщо значення похідних по часу параметрів сили та потужності вихідного впливу вузла є додатними, то така модель достатньо адекватно описує процес поширення епідемії або комп'ютерних вірусів, які «генеруються» одним джерелом. При цьому, чим більшими є значення згаданих похідних, тим швидшим та загрозливішим є цей процес. Зазначимо, що різке стрибкоподібне збільшення області та потужності впливу є характерним для так званих каскадних явищ у мережі. Якщо ж похідні по часу параметрів сили та потужності вихідного впливу є від'ємними, то сила впливу вузла та кількість вузлів – кінцевих приймачів потоків, які генеруються у цьому вузлі зменшується. Таким чином, параметри впливу дають змогу відстежувати динаміку зміни ролі вузла у мережевій системі та моделювати деякі загрозливі процеси, які можуть перебігати у ній.

VI. ПОШИРЕННЯ ВПЛИВІВ МЕРЕЖЕВОЮ СИСТЕМОЮ

У попередньому пункті розглянуто найпростіші приклади поведінки параметрів впливу вузлів мережевих систем. Зрештою, і у фізичному світі, і в людському суспільстві така поведінка цих параметрів є домінуючою. Дійсно, більшість промислових та аграрних підприємств мають довгострокові контракти з реалізаторами їх продукції, вплив кожної людини, незважаючи на його силу, рідко коли зростає або спадає стрибкоподібно чи змінює свою спрямованість. Це ж стосується політичних партій, громадських організацій, релігійних конфесій та інших державних, соціальних чи економічних формацій. Всі вони зацікавлені у збільшенні параметрів свого вихідного впливу та потребують або вимушені адекватно сприймати різноманітні вхідні впливи. Не меншою мірою це стосується живої природи – харчові ланцюжки, вплив окремих особин у зграях тварин, ареали їх проживання і т. ін. Загалом ці параметри дозволяють сформулювати функціональну ієрархію впливу, яка існує у багатьох реальних МС. Процеси, які розгортаються у різнотипних системах, можуть бути подібними (розповсюдження чуток, інфекційних захворювань, комп'ютерних вірусів, сільськогосподарських шкідників, лісових пожеж і т. ін.). У той же час процеси, які виникають в одній системі, можуть суттєво відрізнятися один від одного. Наприклад, перебіг та наслідки розповсюдження інфекційних хвороб залежить від їх виліковності (грип) або невиліковності (СНІД), існування вакцин (кір, Covid-19) або їх відсутності (лихоманка Ебола та інші віруси сімейства Марбург) тощо. Впливи можуть розповсюджуватись з різною швидкістю (каскадні явища та еволюційні процеси), бути коротко-, довготривалими або

періодичними (терористичні акти, радіоактивне забруднення, виверження вулканів), мати «хвилеподібний» характер (епідемії, розповсюдження чуток), породжувати як позитивні (відгук на заклики моральних авторитетів), так і негативні наслідки (поновлювані або непоновлювані втрати – лісові пожежі та вичерпання покладів корисних копалин) і т. ін.

Визначення множини вузлів-приймачів потоків для заданого вузла-генератора мережевої системи та зворотно часто є неоднозначною проблемою. Зазвичай це пов'язано із типом МС та рівнем впорядкованості руху потоків у ній. Так для більшості систем із повністю впорядкованим рухом потоків – промислових, торгівельних, транспортних, постачання ресурсів і т. ін. параметри впливу їх вузлів є достатньо детермінованими та прогнозованими (випуск певної кількості кінцевої продукції вимагає постачання конкретного обсягу і номенклатури сировини та комплектуючих, маршрути руху транспортних засобів та об'єми перевезень пасажирів і вантажів, постачання енергоносіїв визначається наперед підписаними довгостроковими угодами із чітко визначеними обсягами потоків тощо).

Для систем із частково впорядкованим та неупорядкованим рухом потоків множини вузлів-приймачів для більшості або усіх вузлів-генераторів не є наперед визначеними. Розглянемо для прикладу читачку мережу. Читачка аудиторія популярних письменників, наприклад, Стівена Кінга сягає десятків мільйонів читачів. Вона є достатньо стабільною та з виходом кожного нового роману змінюється незначно. Подібні групи, які у теорії складних мереж називають спільнотами, існують у багатьох реальних МС. Зазвичай їх поведінка є цілком зрозумілою та передбачуваною та особливої загрози системі не створює. Водночас, читачка аудиторія письменника-дебютанта є практично невизначеною. Інколи вона може сягнути мільярдів читачів, як це сталося з поттеріадою Джоан Роулінг, але для більшості авторів не перевищує порівняно невеликого початкового тиражу. Остаточні параметри вихідного впливу такого письменника визначаються через певний час кількістю проданих примірників його твору. Такі групи «прихильників» можуть формуватися не лише довкола певної особи, але й під впливом певної ідеї, вірування, спільних професійних або інших інтересів тощо. Так, сучасна наука поділена на окремі галузі, а кожна із цих галузей – на окремі дисципліни. Науковці, як «вузли» наукового співтовариства, також утворюють складну мережу [9], яку можна поділити на спільноти, що відповідають окремим галузям науки та вкладеним у них меншим спільнотам, які утворюють спеціалісти з окремих наукових дисциплін. Кожний науковець, як автор наукових статей, є генератором потоків-публікацій. Множину вузлів-приймачів цих потоків можна визначити лише приблизно, наприклад, обмеживши її спеціалістами відповідної наукової дисципліни. Однак з часом область та потужність впливу автора уточнюється загальною кількістю та індексом цитувань його статей, кількістю їх переглядів та скачувань у електронних виданнях відкритого доступу тощо. Якщо у випадку читачкої аудиторії джерело формування групи міститься

поза цією групою, то у випадку наукового співтовариства самі елементи групи є джерелами, які підтримують її існування.

Складність проблеми полягає у тому, що наперед практично неможливо визначити чи містить новостворена чи існуюча тривалий час група реальну загрозу для системи, чи вона збереже свій маргінальний статус. При цьому навіть невеликі групи можуть бути достатньо небезпечними (Синій кит, ПВК Радон, Біле братство та ін.). Часто формування таких груп відбувається у соціальних мережах або навіть у Даркнеті, що утруднює їх своєчасне виявлення та оцінку загрози. Зрештою, відомі фашистські та нацистські рухи або терористичні об'єднання на зразок Аль Каїди або ІДІЛ починалися із створення невеликих груп однодумців. Тому своєчасне виявлення та нейтралізація таких груп та подібних їм джерел негативних впливів є одним із дієвих засобів захисту системи від можливих масштабних уражень. У іншому разі поширення їх впливу системою може стати значно небезпечнішим [10]. Фактичне ігнорування військової агресії росії у Грузії у 2008 році та анексії територій України у 2014 призвело до її впевненості у своїй безкарності та початку повномасштабної війни у 2022 році. Наслідки цієї агресії у вигляді загрози світовій продовольчій, енергетичній і фінансово-економічній кризи та можливості переростання у глобальний військовий конфлікт торкнулися практично усіх країн світу. Тобто, без своєчасної реакції локальне ураження системи може перерости у групове і навіть загальносистемне. Цей факт підтверджує і історія поширення коронавірусів з початку 21-го століття. Поточні та кінцеві значення параметрів вихідного впливу вузлів-генераторів таких потоків можна визначити лише через певний проміжок часу, проводячи неперервний моніторинг цього процесу. При цьому на кожному наступному кроці до області, наприклад, децентралізованого впливу долучаються суміжні до вже включених у неї на попередньому кроці вузли (рис. 2).

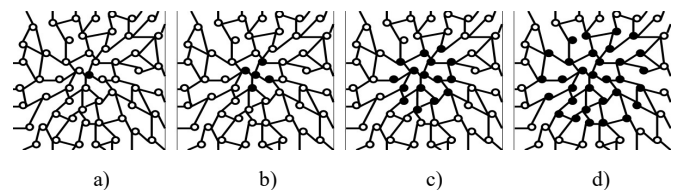


Рис. 2. Поширення впливу вузла на мережеву систему

Складніша ситуація спостерігається, коли існує кілька джерел, вплив яких поширюється одночасно, як це сталося під час пандемії Covid-19 в Україні. На рис. 3 містяться графіки виявлених інфікованих з березня 2020 р. до січня 2022 р. (початку російсько-української війни, коли збір статистичних даних про перебіг пандемії був практично призупинений) у країні загалом (а) та у найбільших містах (Київ, Одеса, Львів, Харків та Дніпро – (б)) [11]. З цих графіків слідує, що, незважаючи на значну відстань між деякими містами, моменти початку чергової хвилі та її піки у них практично співпадають. Зрозуміло, що такі впливи охоплюють мережу значно швидше.

Наступний із розповсюджених сценаріїв поширення впливу вузла мережі полягає в тому, що вузол-генератор з часом дезактивується, а його вузли-приймачі перетворюються у вузли-генератори потоків, які спрямовують їх далі. Тобто, вплив вузла поширюється «хвилеподібно». Така ситуація виникає, зокрема, під час розповсюдження вилкованих інфекційних хвороб або комп'ютерних вірусів (рис. 4).

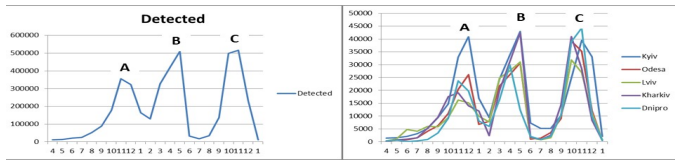


Рис. 3. Поширення впливу мережею з кількох джерел

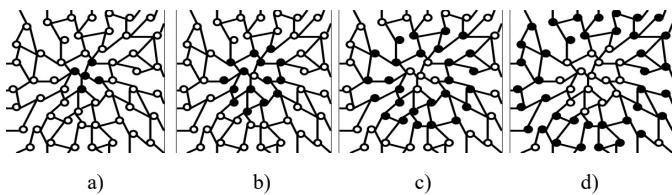


Рис. 4. Хвилеподібне поширення впливу вузла у мережі

Окреме місце займають процеси, під час розгортання яких частина вузлів мережі є захищеною від негативного впливу інших вузлів (вакцинація, антивіруси у комп'ютерних мережах, критичне мислення). Так, якщо із мережі, зображеної на рис 2а, вилучити 33% випадковим чином захищених вузлів, то отримаємо мережу уражливих вузлів, які містяться на рис. 5а (захищені вузли та їх зв'язки не відображені на ньому). З подальших кроків, на кожному з яких до області впливу залучаються лише вузли, суміжні до включених у неї раніше (рис. 5б-г) слідує, що уразливості навіть на 33% захищеної мережі суттєво зменшується. Це кількісно підтверджується даними, що містяться у таблиці 1, з якої слідує, що навіть на 66% захищена мережа може стати практично неуразливою (числові дані, які містяться у 2-4 стовпцях, відображають кількість уражених вузлів на кожному кроці).

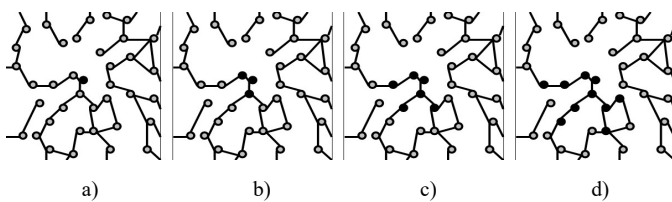


Рис. 5. Поширення впливу вузла у мережі (рис. 2а), 33% вузлів якої є захищеними від стороннього впливу (захищені вузли не відображені у структурі МС)

Різні явища, які можуть виникати в системі та спричинюватись як внутрішніми, так і зовнішніми впливами, можуть породжувати різну реакцію її елементів та змінювати характер поведінки цих елементів. Дослідження параметрів впливу дозволяє також вивчати та прогнозувати фазові переходи в системі. Зокрема, параметри вихідної потужності дають можливість визначати перетин

епідемічних порогів небезпечних інфекцій, як відношення кількості захворілих до загальної кількості населення міста або регіону країни. Параметри вихідної області впливу дозволяють визначити переростання епідемії в пандемію, коли інфекція поширюється територією всієї країни, кількох сусідніх країн або континентом Землі. Окремий випадок поширення негативних впливів спостерігається, якщо різні вузли по різному реагують на ураження або коли низка елементів системи, які визначаються найбільшими значеннями впливу, є метою цілеспрямованої атаки.

ТАБЛИЦЯ І.

Крок	Відсоток захищених вузлів		
	0%	33%	66%
1	5	3	2
2	16	6	3
3	32	10	3
4	55	16	3

VII. ВИСНОВКИ

У статті на підставі потокової моделі складної мережевої системи та визначених з її допомогою параметрів впливу вузлів мережі проаналізовані основні способи поширення нею різномірних внутрішніх та зовнішніх впливів. Очевидно, що розроблення стратегій захисту МС суттєво залежить від виду негативного впливу та можливих сценаріїв його поширення. Тому розуміння, яким чином мережева система відреагує на той або інший вид впливу може суттєво підвищити ефективність задіяних засобів захисту або протидії та мінімізувати наслідки поширення цього впливу.

REFERENCES

- [1] D. Waltner-Toews et al, "The Ecosystem Approach: Complexity, Uncertainty, and Managing for Sustainability", In: Complexity in Ecological Systems. New York: Columbia University Press, 2008.
- [2] O. Polishchuk, "About group and system-wide lesions of complex network systems and intersystem interactions", arXiv: 2211.11207 [physics.soc-ph], 2022.
- [3] Y. Sawada, M. Bhattacharyay and T. Kotera, "Aggregate impacts of natural and man-made disasters: A quantitative comparison", Intern. Journ. of Development and Conflict, Vol. 9(1), pp. 43-73, 2019.
- [4] S. Boccaletti et al, "Complex networks: Structure and dynamics", Physics reports, Vol. 424 (4), pp. 175-308, 2006.
- [5] О.Д. Поліщук, М.С. Яджак, «Мережеві структури та системи: I. Потокові характеристики складних мереж», Системні дослідження та інформаційні технології, №2, С. 42-54, 2018.
- [6] M. Catanzaro, G. Caldarelli, L. Pietronero, "Assortative model for social networks", Physical Review E, Vol. 70, 037101, 2004.
- [7] Q. Cao Q et al, "Aiding the detection of fake accounts in large scale social online services", Available: <https://www.researchgate.net/publication/262412815>, 2012.
- [8] X. Zhou et al, "Fake news early detection: A theory-driven model", arXiv: 1904.11679v1 [cs.CL], 2019.
- [9] M.E.J. Newman, "The structure of scientific collaboration networks", Proc. of the NAS of the USA, Vol. 98 (2), pp. 404-409, 2001.
- [10] T.J. Grosser, V. Lopez-Kidwell, G. Labianca, "A social network analysis of positive and negative gossip in organizational life", Group and Organizational Management, Vol. 35 (2), pp. 177-212, 2010.
- [11] The electronic map of the COVID-19 coronavirus disease spread worldwide and in Ukraine. Available: <https://www.rnbo.gov.ua/en/Diialnist/4588.html>

Using Neural Networks to Identify Fake News

On the Example of Recurrent and Convolutional Neural Networks

Artem Khovrat

dept. of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
artem.khovrat@gmail.com

Volodymyr Kobziev

dept. of Software Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

Abstract—The problem of reliability of information is becoming increasingly acute with the development of technology. News agencies use classification algorithms that allow to speed up the process of identifying fabricated news, but the accuracy drops under critical conditions. The paper is devoted to determining the efficiency of using recurrent and convolutional neural networks to detect these news in combination with natural language processing tools. The results of the research conducted on the data about the elections in the USA and about the invasion of the russia into Ukraine, allow us to assert the feasibility of using both models for the selected issue

Keywords—classification; informational security; natural language processing; neural networks with memory

I. INTRODUCTION

With the development of technology and the increase in the number of social upheavals, the volume of fabricated news has increased significantly. As an example, we can cite the news about the spread of the coronavirus from China and the “world conspiracy” regarding the vaccine [1] or the news about the elections in Brazil in 2019 [2]. Some of these messages can be attributed to incorrect subjective perceptions of real information, but a significant number are the result of propaganda [3]. If in the case of the pandemic, the reason for the spread of fake news was to influence opinions, now in Ukraine, they are aimed at demoralizing the population and the military to suppress their opposition. In addition, there are attempts to influence people who are not parties to a full-scale war to discredit the aid provided [4].

The world trend aimed at combating such information is generally positive [5], but the problem lies in determining whether the information is fake or not. If the decision is based not on facts, but on expert assessment, then such a situation can be considered manipulative and aimed at authoritarianizing the country. This situation is observed in the russian federation, Iran, and the DPRK.

For democratic countries, the process of identifying fake news can be automated using artificial intelligence. Initially, naïve Bayes or SVM was used as the basic method, but with the development of neural networks, convolutional (CNN) and recurrent (RNN) neural networks gained the most popularity. It is worth noting that given numerous studies, these models can give different results depending on the subject area [6]. Therefore, it was decided to consider the effectiveness of using

these models to identify fake news, to optimize their selection when building an appropriate software system.

II. DOMAIN ANALYSIS

To create an algorithm for processing textual information, it was decided to conduct a linguistic analysis of fake news. For this purpose, it was decided to use data on the 2016 United States election. During the analysis, it was found that fake news contains fewer words on average than real news. In addition, the range of words in fake news is much larger than in real data. Despite fewer characters and sentences, the sentences themselves are shorter in fake news. This is due to the fact that editors and journalists use certain newspaper norms, which include the length and choice of words, the absence of grammatical errors, etc. However, fake news is usually not based on these rules.

According to the obtained statistics, real news has fewer question marks than fake news. The reason may be that fake news is rich in rhetorical questions that are used to deliberately emphasize ideas and reinforce sentiments. In addition, it can be noted that both types of news have very few exclamation points, and therefore exclamation marks, although their number is still greater in fake news. Special attention should be paid to the cognitive load expressed in the words of opposition (“but”, “without”) and denial (“no”, “not”). True texts contain more objections and oppositions. This can be explained by the fact that the creator of fake news should be more specific and accurate and pay attention to appeals. This will also reduce the likelihood of self-contradiction. The mood in real and fake news is significantly different. Fake news is more negative.

Lexical diversity, in general, is a measure of how many different words are used in a text, while lexical density is a measure of the proportion of lexical items (ie, nouns, verbs, adjectives, and some adverbs) in a text. Considering the obtained data, we can note that there is more diversity in real news: 2.2e-06 versus 1.76e-06 for fake news. This can be explained by the fact that false information is usually aimed at a less educated population that does not have developed critical thinking.

It is also worth noting that first-person pronouns (“I”, “we”) are used less by counterfeiters).

III. OVERVIEW OF ARCHITECTURES OF SELECTED NEURAL NETWORKS MODEL

Let's start the overview with convolutional neural networks. As can be seen in Figure 1, a CNN consists of three types of layers: convolutional, subsampling, and perceptron.

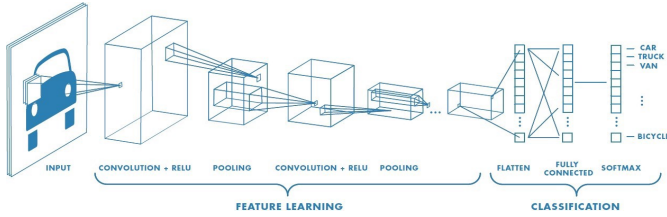


Fig. 1. Scheme of convolutional neural network architecture [7].

Actually, the main layer of a convolutional neural network can undoubtedly be considered the layer of convolution, the work of which is the basis of this network. Its parameters are actually filters that have small spatial dimensions (width and height), but which pass through the entire depth of the input data volume. In particular, for the current case, it was decided to choose a filter of size $5 \times 5 \times 3$. While passing through the network, the filter is slid over the width and height of the input data, during which the scalar product between the filter entries and the input information is found. As a result, a two-dimensional activation map is formed, which provides the response of this filter at each spatial position. The number of similar activation cards is equal to the number of used filters.

For this network, three hyperparameters are considered that control the classification process. The first is depth, which is equivalent to the number of filters used in the network. The second is the size of the step with which the filter performs the pass: the larger it is, the smaller the filter is applied and the smaller the size of the output matrix. When passing the filter, there are situations when it is convenient to fill data boundaries with zeros. The scope of this addition is the final third hyperparameter.

The selection of the specified hyperparameters will be carried out by means of cross-validation with the application of F-score. The following recommendations will be considered for selection:

- the core size should range from 2 to 5;
- it is not advisable to choose a step size greater than 3 when examining the text, as this will affect the overall quality of the information analysis, and not the subject area, this parameter is extremely important;
- addition of zeros will be necessary only if there is a non-unit step;
- we will not use the displacement parameter;
- as for the depth, it can vary depending on how many descriptors need to be obtained from the text, so in our case we will vary this hyperparameter from 5 to 10.

It is worth noting that the number of layers of the convolutional network for the analysis of text information should be equal to 1. In addition, for our case, the text

vectorization process is added. After the convolution is obtained, the union layer aggregates the features in a certain region. There are several methods of pooling, however, when considering textual information, the most popular is max-pooling, which selects the maximum value of each filter.

Let's move on to the consideration of the recurrent neural network. Its architecture is shown schematically in Figure 2.

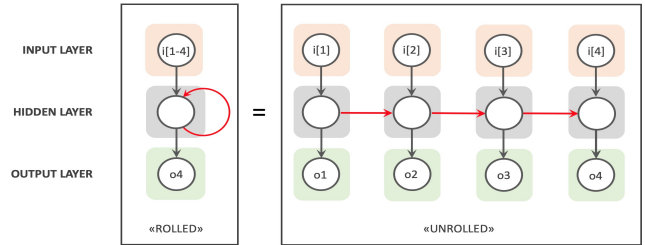


Fig. 2. Scheme of the recurrent neural network architecture [8].

Figure 2 depicts the recurrent boundary at each point in time, showing the presence of three layers: input, hidden (where the main processing is done), and output. The learning process occurs by back-expansion in time when new weights are obtained both as a result of current processing and due to previous values.

The input layer performs the initial processing of the received textual information, which in our case will include tokenization, lemmatization, stemming, and word embedding.

The process of finding weight coefficients, which takes place in the so-called "hidden" layer, is related to finding gradients based on input data. This feature, in turn, can give rise to two problems - a vanishing gradient and an explosive gradient. The first is related to the fact that with large amounts of data or incorrect initial configuration, the gradients determining the weighting coefficients can go to 0. As a result, the network will stop the learning process. The second is the exact opposite of the first problem.

To overcome these shortcomings, which can have a significant impact when considering fake news, in the future, we will use not the classic architecture of the network, but its modification with support for both short-term and long-term memory - LSTM. Figure 3 shows a schematic representation of the operation of one of the steps of finding the weighting coefficients:

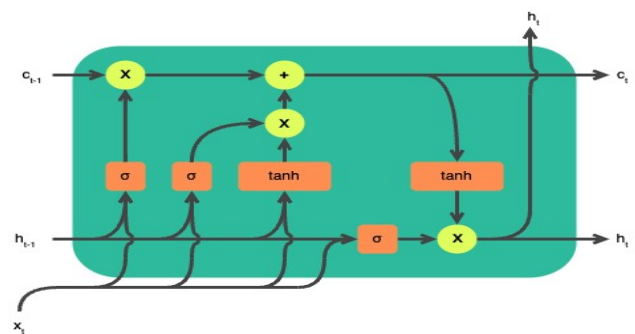


Fig. 3. Schem of the recurrent neural network with long-term memory architecture [9].

The first stage of the LSTM hidden layer is the Forget Box. Here, two input weight data are simply added and multiplied by the activation function σ so that the result is in the range from 0 to 1. Then the result of this addition is multiplied by the data from memory. That is why the stage was named - oblivion. If the input value turns out to be 0, then when multiplying by a memory cell, we can successfully delete the value. The next stage is the Input Box, which is responsible for storing data in memory. The output range of the sigma function is between 0 and 1, i.e. it is always positive. In this case, all values obtained as a result of Forget Box would be written to memory. That's why the result is multiplied by the tangent, which has an output range of -1 to 1. This way, some of the data is filtered out as irrelevant. As a result of the operation of the two indicated stages, a memory state is formed, which, like the input and previous output data, serves as the basis for the formation of a new initial state, which is the final stage of the execution of the model step. If necessary, the obtained value can be adjusted using a coefficient μ .

After the operation of the hidden layer, the output layer converts the result into the required format.

IV. EXPERIMENTAL ENVIRONMENT

In the framework of the current work, the experimental environment will mean the combination of the efficiency function, the comparison rules, and the experimental plan.

The parameters of the efficiency function will be the training rate of the model, the root mean square error describing the classification accuracy, and the amount of data required for training. The higher the first indicator and the smaller the last two, the more effective the model. The comparison of the two models will be determined based on the normalized sum of the ratios of the specified performance metrics for the two models. If this amount exceeds the threshold of 3.5 (obtained experimentally), then the first model is more effective, if it is less than 2.5, then the second, otherwise it is not possible to accurately determine which model performs the task better.

Two samples will be used for the analysis: data on the 2020 United States election and news about Russia's full-scale invasion of Ukraine. Each of the samples contains about 10,000 records. At the same time, speed measurements will be performed 10 times, and the amount of data will vary from 10% to 100% to determine the necessary set of information.

V. RESULTS OF THE EXPERIMENT

After the experiments, it was determined that the average learning time for CNN is ~301 s, and for RNN - ~319 s. Concerning the preparation time for the work of architectural models, the value of the metric for CNN is ~391 s, and for RNN - ~391 s. Regarding classification accuracy, the average value for CNN is 93.5%, and for RNN is 95%. The final metric to measure was the size of the sample required for training, which in both cases was 80% (~8000 records).

Having found the appropriate metrics for comparing the efficiency of the two algorithms, we will move on to finding the aggregated indicator. We will consider CNN as model A, and RNN as model B. We get the value of the aggregated indicator in the A/B ratio equal to 2.83. This allows us to state the higher efficiency of RNN versus CNN, although this difference is not significant. While giving gains in training speed, CNN loses in prediction accuracy. Speed gains can be offset by the use of cloud computing and/or parallelization tools, and accuracy can vary depending on data.

VI. CONCLUSIONS

The current paper aimed to investigate the effectiveness of using neural network architectures such as CNN and RNN to detect fake news. For this purpose, the subject area related to false information was analysed and key patterns characterizing similar data were identified. After the formation of the experimental environment, measurements of the target metrics were carried out, which allow us to assert the insignificance of the obtained efficiency gain of RNN in comparison with CNN. This conclusion corresponds to the world scientific practice, which recommends that during the analysis of text, especially, in the presence of two classes, use any of the proposed models in the case of checking images for authenticity.

REFERENCES

- [1] Polygraph. "The Infodemic: Did China Deliver a COVID-19 Vaccine to Africa?" Voice of America. <https://www.voanews.com/a/covid-19-pandemic-infodemic-did-china-deliver-covid-19-vaccine-africa/6187618.html> (accessed May 28, 2023).
- [2] L. Chinchilla. "How Does the Age of Fake News Impact Democracy?" Annan Foundation. <https://www.kofiannanfoundation.org/supporting-democracy-and-elections-with-integrity/annan-commission/post-truth-politics-afflicts-the-global-south-too/> (accessed May 28, 2023).
- [3] R. Deng and F. Duzhin, "Topological Data Analysis Helps to Improve Accuracy of Deep Learning Models for Fake News Detection Trained on Very Small Training Sets," *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 6, no. 3, p. 74, Jul. 2022. Accessed: Jun. 6, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/bdcc6030074>.
- [4] O. Herus, "The role of social media in the information warfare in the context of war," in *Sociol. – Social Work Social Welfare: Regulation Social Problems*. Marchenko Publisher, 2023. Accessed: Jun. 6, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.23939/sosrsw2023.031>
- [5] A. Blocman. "Laws to combat manipulation of information finally adopted." IRIS Merlin. <https://merlin.obs.coe.int/article/8446> (accessed May 28, 2023).
- [6] P. S. Reddy, D. E. Roy, P. Manoj, M. Keerthana, and P. V. Tijare, "A Study on Fake News Detection Using Naïve Bayes, SVM, Neural Networks and LSTM," *J. Adv. Res. Dynamical Control Syst.*, vol. 11, no. 06, pp. 942–947, 2019.
- [7] S. Saha. "A Comprehensive Guide to Convolutional Neural Networks - the ELI5 way." *Towards Data Science*. <https://towardsdatascience.com/a-comprehensive-guide-to-convolutional-neural-networks-the-eli5-way-3bd2b1164a53> (accessed May 28, 2023).
- [8] A. Trujillo. "LSTM Neural Network for Time Series Forecasting." RPubS. <https://rpubs.com/atrujill/717267> (accessed May 28, 2023).
- [9] M. West. "Explaining Recurrent Neural Networks." *bouvet*. <https://www.bouvet.no/bouvet-deler/explaining-recurrent-neural-networks> (accessed May 28, 2023).

Вплив порогового параметру на бінарну класифікацію в моделі штучного нейрона

Маккалоха - Піттса

Дар'я Білоконь

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
dasha.bilokon123@gmail.com

The influence of the threshold parameter on binary classification in the artificial neuron model

McCulloch - Pitts

Daria Bilokon

Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
dasha.bilokon123@gmail.com

Анотація — В рамках дослідження обчислювальних інтелектуальних машин в даній роботі розглядається побудова інтелектуальної системи на основі технологій штучних нейронних мереж та теоретичні особливості функціонування моделі штучного нейрона Маккалоха-Піттса, а саме акцентується увага щодо впливу порогового параметру на бінарну класифікацію.

Abstract — As part of the study of computing intelligent machines, this paper considers the construction of an intelligent system based on artificial neural network technologies and the theoretical features of the McCulloch-Pitts artificial neuron model, namely, attention is paid to the influence of the threshold parameter on binary classification.

Ключові слова — Штучні нейронні мережі; інтелектуальні системи; обчислювальні машини; інтелектуальні обчислювальні машини.

Keywords — Artificial neural networks; intelligent systems; computing machines; intelligent computing machines.

I. ВСТУП

Проблема відсутності універсальності у системах штучного інтелекту, актуалізована Джоном Маккарті (John

McCarty)[1], іноді призводить до неочікуваних результатів роботи інтелектуальних систем. Такі результати мають неабиякий вплив на розробку та дослідження. Дані інтелектуальні інформаційні технології потребують кропіткого вивчення та дослідження різних обчислювальних систем та їхніх параметрів. Обчислювальні системи обробки інформації мають ключове значення розвитку теоретичної інформатики. Штучні нейронні мережі мають складну обчислювальну архітектуру, яка базується на моделі нейрона, що являє собою одиницю обробки інформації [2]. Різні параметри, які налічує модель змінюють обчислювальні процеси. Вивченням штучних нейронних мереж займалися наступні науковці: Ворен Маккалох (Warren Sturgis McCulloch), Волтер Піттс (Walter Harry Pitts), Дональд Хебб (Donald Olding Hebb), Джон Маккарті (John McCarty), Клод Елвуд Шенон (Claude Elwood Shannon), Марвін Лі Мінський (Marvin Lee Minsky), А.В. Анісімов, М.І. Шлезінгер, В.В. Мацелло, Т.К. Вінцюк.

Українські дослідники використовуючи штучні нейронні мережі працюють у наступних напрямках досліджень: розпізнавання образів, автоматичне розпізнавання, розуміння та синтез мовленнєвих сигналів,

природномовна інформатика, інформаційне забезпечення інтелектуалізованих робототехнічних комплексів[3].

Дана робота присвячена дослідженню впливу порогового параметра на бінарну класифікацію.

Мета роботи: дослідити вплив порогового параметра на бінарну класифікацію.

Завдання: розглянути теоретичні питання моделі нейрона, побудувати математичну модель бінарної класифікації для відстеження обчислювальних характеристик при зміні порогового значення. Формалізувати алгоритм навчання моделі нейрона. Провести обчислювальний експеримент для отримання результатів.

Методи: В цій роботі використовувались наступні наукові методи: аналіз та обчислювальний експеримент. Для реалізації обчислювального експерименту використовується система комп'ютерної алгебри із класу систем автоматизованого проектування MathCAD. Також слід зазначити, що автор дотримується концепції перевірки та відтворення результатів. Тобто, матеріал представлено у формалізованому вигляді задля того, щоб кожен із читачів, хто забажає, зміг повторити дане дослідження та відтворити обчислювальні експерименти. Дана концепція набула масштабного світового розголосу та була освічена у циклі статей «Стан світової науки за 2018 р.», яка була опублікована у журналі Наукова Америка (Scientific American)[4]. Джон Іоаннідіс (Jhon Ioannidis) перелічуючи різні проблеми світової науки наголошував, що не винагороджується забезпечення прозорості й іноді дослідження взагалі неможливо перевірити. Також про цю проблему писав ще один автор Шеннон Палус (Shannon Palus) у статті «Наука під пильним контролем: проблема відтворюваності» Наукова Америка (Scientific American)[5].

Ще слід зазначити, що при написанні формул використовується розрізнення «дорівнює» (=) та «присвоювання» (:=) це в свою чергу обумовлено синтаксисом MathCAD.

Також автор використовує вставки зображення фрагментів реалізованих алгоритмів для унаочнення принципів.

Слід зазначити, що дана робота є продовженням досліджень штучних нейронних мереж. Крім цього, з деякими напрацюваннями автора за даною темою можна ознайомитись в додатковій роботі[6].

II. МОДЕЛЬ НЕЙРОНА

Нейрон являє собою одиницю обробки інформації в штучній нейронній мережі. На рис. 1 представлена дана модель. Нейронна модель налічує три основні елементи:

- Синапси або зв'язки (кожен характеризується вагою).
- Суматор – складає вхідні сигнали.
- Функція активації – обмежує амплітуду вихідного сигналу нейрона.

Також на рис.1 можна побачити пороговий елемент (bias) b_k . Порог (bias) b_k – величина, яка відображає збільшення або зменшення сигналу, який подається до функції активації[2].

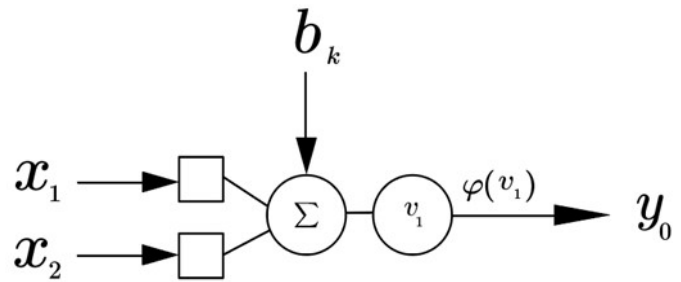


Рис. 2. Модель нейрона Маккалоха-Піттса

III. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОНА

Встановлюємо початок відліку індексів для векторів та матриць.

$$\text{ORIGIN}:=1 \quad (1)$$

Моделюємо вхідні сигнали нейрона. В цьому прикладі модель нейрона приймає на вхід два сигнали, що є координатами точки. Тому за допомогою функції для генерації псевдовипадкових чисел встановлюємо значення змінних x_{01} та x_{02} .

$$x_{01}:=\text{rnd}(5)=1.52 \quad (2)$$

$$x_{02}:=\text{rnd}(1)=0.091 \quad (3)$$

Встановлюємо вагові коефіцієнти, початкове значення яких дорівнює нулю. Потім в процесі навчання вага буде налаштовуватись.

$$i:=1..2 \quad (4)$$

$$j:=1..2 \quad (5)$$

$$w_i:=\text{rnd}(0.3) \quad (6)$$

$$w:=\begin{pmatrix} 0.058 \\ 0.176 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Встановлюємо пороговий елемент (bias) $b_k=0$. Для другого етапу експериментів буде встановлено $b_k=5$.

$$b_k := 0 \quad (8)$$

Встановлюємо бажане значення вихідного сигналу.

$$y_0 := 1 \quad (9)$$

Сигмоїдальна функція активації, коефіцієнт навчання η та коефіцієнт кривини графіку a .

$$a := 0.5 \quad (10)$$

$$\eta := 0.5 \quad (11)$$

$$\phi(\vartheta) = \frac{1}{1 + \exp(-a \cdot \vartheta)} \quad (12)$$

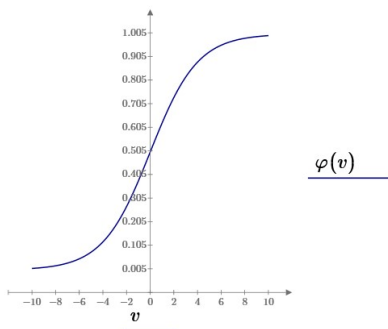


Рис. 3. Графік сигмоїдальної функції активації.

Математичне представлення функціонування нейрона описується наступною парою рівнянь:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j \quad (13)$$

$$y_k = \phi(u_k + b_k) \quad (14)$$

Алгоритм навчання нейронної моделі:

Algorithm 1 Модель Маккалоха-Піттса

Require: Вектор з двох елементів

Ensure: Навчена матриця вагових коефіцієнтів W

```

D ← 2
while D > 0 do
  Σ ← w1x1 + w2x2
  if Σ ≤ bk then
    y ← 0
  else
    y ← 1
  end if
  D ← yk - y
  w1 ← w1 + D·x1·η
  w2 ← w2 + D·x2·η
  D
end while
W ← w

```

Рис. 4. Алгоритм навчання нейронної моделі Маккалоха-Піттса

Реалізація алгоритму навчання нейронної моделі у системі комп'ютерної алгебри MathCAD:

```

W := || D ← 2
      while D > 0
        Σ ← w1 · x01 + w2 · x02
        if Σ ≤ bk
          || y ← 0
        else
          || y ← 1
          D ← y0 - y
          w1 ← w1 + D · x1 · η
          w2 ← w2 + D · x2 · η
          D
        || W ← w

```

Рис. 5. Реалізація алгоритму навчання у MathCAD

Отримуємо вектор вагових коефіцієнтів.

$$W := \begin{pmatrix} 2 \\ 2.058 \end{pmatrix} \quad (15)$$

Після отримання вектора вагових коефіцієнтів переходимо до наступного етапу – написання тестової функції, завдяки якій можливо провести експеримент із класифікації точки у 2D просторі.

Algorithm 2 Функція тестування

Require: Координати точки - вектор з двох елементів

Ensure: Значення y , розпізнана точка або пі

```

Σ ← w1x1 + w2x2
if Σ ≤ bk then
  y ← 0
else
  y ← 1
end if
y

```

Рис. 6. Функція тестування для розпізнавання точки.

Представимо реалізацію функції тестування у системі MathCAD:

```

y(x1, x2) := || Σ ← W1 · x1 + W2 · x2
              || if Σ ≤ bk
              || || y ← 0
              || else
              || || y ← 1
              || y

```

Рис. 7. Функція тестування, реалізація MathCAD.

Також для унаочнення експериментів із бінарною класифікацією за допомогою моделі нейрона Маккалоха-Піттса слід обов'язково задати параметри для відображення на графіку тестових екземплярів.

Задається діапазон $[-10; 10]$ для побудови лінійного графіку функції для відображення границі класифікації.

$$x1 := -10..10 \quad (16)$$

Задається лінійна функція наступним чином:

$$x2(x1) := x1 \cdot \frac{W_1}{W_2} \quad (17)$$

Лінійна функція з урахуванням (bias) b_k наступним чином:

$$x2(x1) := x1 \cdot \frac{W_1}{W_2} + b_k \quad (18)$$

Отже, перед тим як перейти до експериментів слід зазначити, що для реалізації представлені тут обчислювальної системи слід врахувати по чергове введення виразів від 1 до 14, потім Алгоритм 1 представлений на рис. 3 та 4, після отримання результатів 15, Алгоритм 2 представлений на рис.5 та 6. Також для відображення експериментів на графіку слід ввести вирази 16-18, після чого побудувати графік і побудувати належним чином систему координат.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Перший етап обчислювального експерименту проводиться при пороговому значенні $b_k=0$. Результат розрахунків та позиціонування крапки для бінарної класифікації демонструється на графіку.

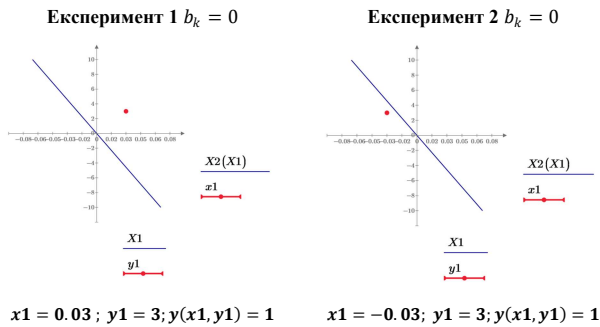


Рис. 8. Результати експериментів 1,2 реалізація MathCAD.

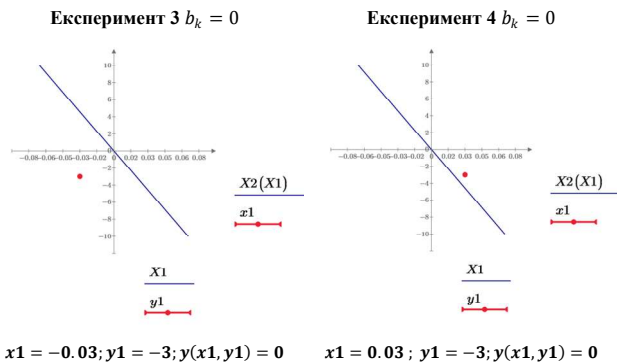


Рис. 9. Результати експериментів 3,4 реалізація MathCAD.

Отже, експерименти 1 – 4 ілюструють роботу бінарного класифікатора наступним чином. Якщо крапка розміщується у першій та другій чвертях графіку, тоді модель нейрона розпізнає дані координати та результат обчислення функції $y(x1,y1) = 1$. Якщо крапка розміщена у третій та четвертій чвертях графіку результат обчислення функції $y(x1,y1) = 0$. Тому можна припустити, що головною особливістю роботи даного бінарного класифікатора, заснованого на моделі нейрона Маккалоха-Піттса, є класифікація координат за лінією по осі x .

Другий етап обчислювального експерименту проводиться при пороговому значенні $b_k=5$. Результат розрахунків та позиціонування крапки для бінарної класифікації демонструється на графіку.

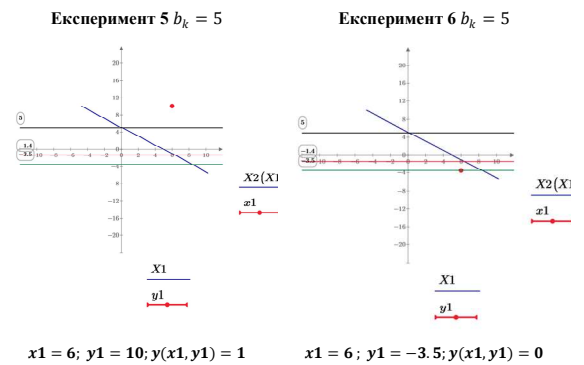


Рис. 10. Результати експериментів 5,6 реалізація MathCAD.

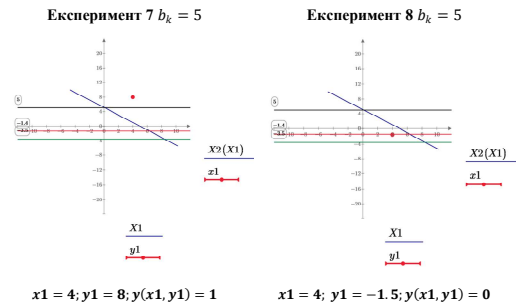


Рис. 11. Результати експериментів 7,8 реалізація MathCAD.

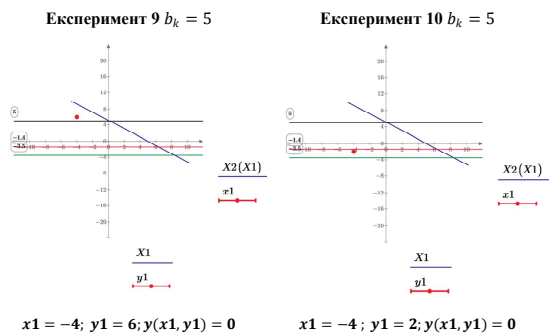


Рис. 12. Результати експериментів 9,10 реалізація MathCAD.

Отже, експерименти 5-10 ілюструють роботу бінарного класифікатора наступним чином. Якщо крапка розміщується у другій та третій чвертях графіку, тоді модель нейрона не розпізнає дані координати та результат обчислення функцій $u(x_1, y_1) = 0$. Якщо крапка розміщується у першій або у четвертій чвертях, то бінарний класифікатор розпізнає координати наступним чином.

Якщо $x=6$, то границя по $y=-3.5$, тобто після цієї границі функція $u(x_1, y_1) = 0$, а якщо при $x=4$, то границя розпізнавання по $y=-1.4$, тобто після цієї границі $u(x_1, y_1) = 0$.

ВИСНОВКИ

В даній роботі виконані всі дослідні задачі та отримані результати. Крім цього, основні прикінцеві положення наступні:

- Слід зазначити, що через малу кількість вхідних даних досліднику не вдалося добитися класифікації, границею якої виступає лінійна функція.
- Експерименти 1-4 ілюструють бінарний класифікатор та його особливість, яка полягає у класифікації координат за лінією по осі x .
- Експерименти 5-10 ілюструють бінарний класифікатор та його особливість, яка полягає у класифікації координат з урахуванням індукованого локального поля.

- Подальші розробки – виявлення закономірностей бінарної класифікації при різних показниках порогового коефіцієнта (bias) b_k . Навчання та експериментування моделі Маккалоха-Пітса для класифікації з урахуванням лінійної функції розділення. Огляд та виявлення особливостей індукованого локального поля.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] McCarty, J. Generality in Artificial Intelligence: ACM Turing Award Lectures The First Twenty Years 1966-1985 – ACM Press Anthology Series, Addison Wesley Publishing Company - 1987.
- [2] Haykin, S. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. – Prentice Hall, 1999.
- [3] Стан та перспективи розвитку інформатики в Україні: монографія / Кол. авторів. – Київ: Наукова думка, 2010. – с. 1008.
- [4] Jhon Ioannidis Science Funding Is Broken – Scientific American – 2018
- [5] Science under Scrutiny: The Problem of Reproducibility Scientific American By Shannon Palus on October 1, 2018 URL: <https://www.scientificamerican.com/article/science-under-scrutiny-the-problem-of-reproducibility/>
- [6] Білоконь Дар'я Математичне моделювання активаційних функцій штучного нейрона з використанням системи комп'ютерної алгебри MathCAD Матеріали XX Міжнародної науково-практичної конференції «Шевченківська весна – 2022» 14 квітня 2022 р., м. Київ, 2022 с. 33-34, Збірка матеріалів конференції URL: https://probability.knu.ua/shv2022/ShV_2022.pdf

Virtual Reality Systems Integration With Neural Networks For Immersivity Enhancement

Viktor Sineglazov

dept. of Automation and Computer Integrated Systems
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Illia Boryndo

dept. of Automation and Computer Integrated Systems
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
Ibo.mistle@gmail.com

Abstract— In this paper analysis of modern virtual reality and augmented reality systems and their internal algorithms was done. As a result, structural and algorithmic shortcomings were identified and the usage of different neural network models was proposed. During the virtual reality systems investigation, the most significant functional parts suitable for neural network integration were found as well as the methods of their further utilization. Within the research the qualitative analysis of modern architectures of convolutional and generative neural networks was carried out and their separate shortcomings at use in virtual and augmented reality systems was shown.

Keywords—*augmented reality; virtual reality; neural networks; machine learning; convolutional neural networks.*

I. INTRODUCTION

Virtual Reality (VR) is a rapidly developing technology that allows users to experience and interact with digital three-dimensional environments. Using a combination of hardware and software, users can immerse themselves in a simulated world that is created in the most realistic way possible. With the development of hardware and software technologies, virtual reality has become a viable option for many applications, from gaming to medical simulations.

In its simplest form, virtual reality is a computer-generated environment designed to simulate real life. This is achieved through computer graphics, sound, and other sensory data such as touch or smell. The user is provided with a simulated environment with which he or she can interact in a variety of ways. Depending on the type of virtual reality system used, users can perform a wide range of activities, from gaming to exploring simulations of real-world environments.

Virtual reality applications are developed for a wide range of purposes, including gaming, education, medicine, marketing, and entertainment. In the gaming industry, VR technology is used to create immersive experiences that allow players to fully immerse themselves in the game world. In education, VR can be used to create simulations of real-world environments that can help students learn more effectively. In medicine, VR is used to create simulations of surgical procedures, allowing doctors to practice without risk to the patient. In marketing, virtual reality can be used to create interactive presentations that can be used to attract potential customers. Finally, in entertainment, virtual

reality can be used to create immersive experiences that make viewers feel as if they are actually in the depicted environment.

The hardware and software technologies used in virtual reality systems are constantly evolving. The most common hardware components include head-mounted displays, gloves, and other sensors. Head-mounted displays (HMDs)[1] are worn on the head and project images directly into the user's eyes. This makes them feel as if they are actually in a virtual environment. Gloves and other sensors allow users to interact with the environment by detecting their movements and turning them into commands in the virtual world.

Software technologies used in virtual reality systems are also constantly evolving. This includes 3D modeling software, physical engines, and artificial intelligence. 3D modeling software is used to create virtual environments with which the user interacts. Physical engines are used to simulate realistic interactions between objects in the virtual world. Finally, artificial intelligence is used to create realistic characters and NPCs (non-player characters) that can interact with the user.

II. APPLICATION OF NEURAL NETWORKS WITHIN VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY

The use of virtual reality (VR) technology has grown significantly in recent years, with applications ranging from gaming and entertainment to medical and industrial training. As VR technology continues to improve, there is a need to develop more advanced algorithms and techniques to maximize its potential. One such technique is the use of convolutional neural networks (CNNs) for virtual reality.

Due to the growing prevalence of virtual reality, a significant amount of research has been conducted on the use of CNNs for virtual reality applications. For example, researchers have developed CNNs that can detect objects in a scene, such as people or furniture. These networks can be used for more realistic interaction with the virtual environment. In addition, networks have been developed that can recognize the shape of objects in a virtual environment. This can enable

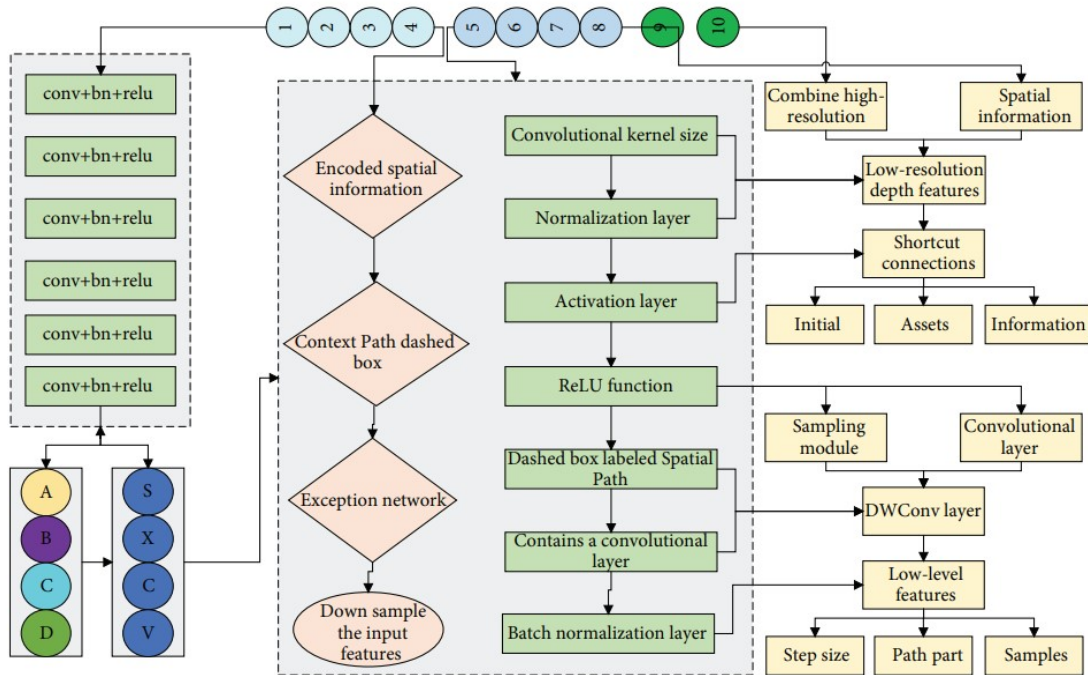


Fig. 1. Block diagram of the system for integrating a convolutional neural network with a virtual reality graphics engine

more accurate interaction with the virtual environment, such as identifying objects that are similar in shape.

Despite these advances, there are still several challenges that need to be addressed to fully realize the potential of CNNs for virtual reality. For example, networks that can accurately recognize objects in a virtual environment, even in the presence of noise or other distractions, still need to be developed. In addition, these neural networks must be able to learn and tune themselves as they go along to become more accurate over time.[2]

As virtual reality technology continues to evolve, there is potential for CNNs to be used in a variety of areas. For example, ANNs can be used to create a more realistic interaction between the user and the virtual environment. For example, networks can be used to detect objects in a scene or recognize the shape of objects.

Additionally, CNNs can be used to provide more accurate navigation in a virtual environment. For example, networks can be used to detect obstacles or other objects in the environment and determine the best path for the user. This can be useful for applications such as medical training or industrial training.

Currently, in the field of virtual reality, an underwater VR system for diving training has been proposed that will allow diving students to experience an arbitrary underwater environment and be able to use virtual reality technology to train in confined water spaces. The ImmerTai system was designed to capture the movements of a Tai Chi expert and capture them in an immersive CR experience to perform

Chinese Tai Chi exercises. The student's movements are also presented in the PC environment in a multimodal format to deliver the captured movements to the student. The student's movements are also captured for quality assessment and used to form a virtual environment for collaborative learning. In addition to this, a virtual reality system is proposed for teaching skiing using an indoor ski simulator. The system is based on a simple indoor ski simulator with two trackers to capture the movement of the skis. Users can control the skis on the provided virtual ski slopes and can train their skills by recreating the performances of professional skiers. The output function with 3 channels and an image resolution of $512 * 256$ is obtained.[3, 4] The United States is the home of advanced virtual simulation technology, and NASA's Ames Research Laboratory is a major player in the field, making engineering applications of virtual simulation (e.g., data helmets, data gloves, virtual reality simulations of space stations) increasingly sophisticated, and virtual simulation of the Hubble Space Telescope is one of the technological achievements, and NASA has established a corresponding space science virtual simulation training system as well as multitasking applications in the space station virtual simulation operating system. Due to its enormous training and testing capabilities, virtual reality technology is often used first in sectors such as defense and aerospace, and then gradually expanded to industries such as healthcare, education, and entertainment, which have created huge markets for it and have reaped significant economic benefits.

On the Figure 1 presented example of flexible integration of convolutional neural network within simple virtual reality graphics engine based on vectorized renderer. To integrate any of neural network it is necessary to implement transition

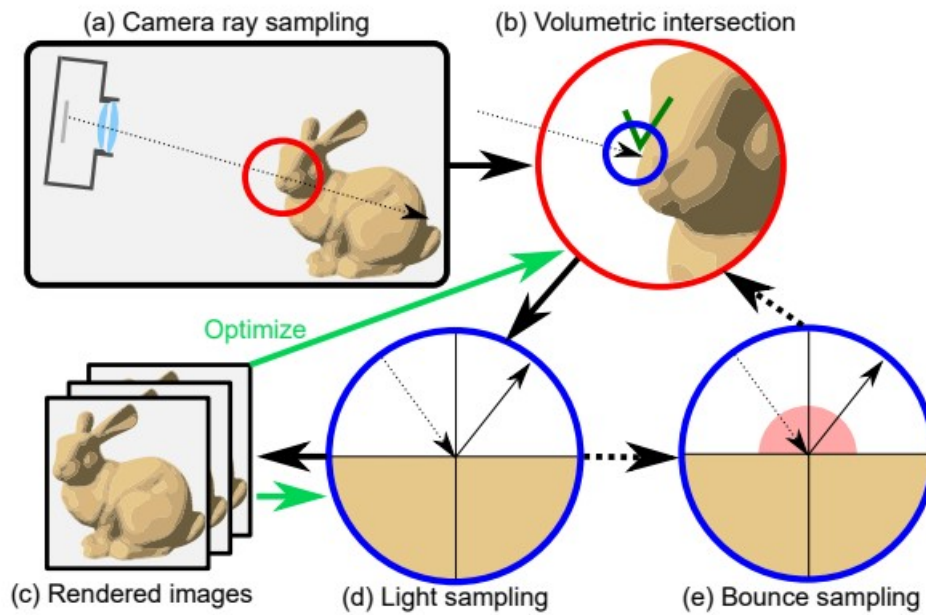


Fig. 2. Algorithm example for ray tracing in direct-acting graphics engines using neural networks

blocks to cover neural network output and integrate it in actual engine render flow. In such, assents of upscaled textures beings reintegrated to renderer output queue after its processing by upscale using both convolutional and generative neural networks.

III. NEURAL NETWORKS USE CASES WITHIN VIRTUAL REALITY

In the context of virtual reality, neural networks can be used to enable different types of interaction. Virtual reality applications can use neural networks to recognize gestures and facial expressions or to process natural language. Neural networks can also be used to create immersive virtual environments by interpreting images and creating real-time visual effects. The type of neural network used for a particular VR application depends on the desired outcome. For example, a Convolutional Neural Network (CNN) is typically used for image recognition, while a Recurrent Neural Network (RNN) is used for natural language processing. In addition, Generative Adversarial Networks (GANs) can be used to create realistic images or other visual effects. [5]

For image generation neural networks can be used to create realistic images in virtual reality applications. There are many methods that can be used to generate images, from simple methods such as ray tracing to more advanced methods such as deep learning.

Neural networks have been successfully used in a variety of virtual reality applications. For example, Google's DeepMind has been used to create virtual reality environments that can be explored with a GI agent. DeepMind is a type of neural network known as a deep learning network that was

able to successfully navigate the virtual environment and identify objects in it. Neural networks are also used to create virtual characters that can interact with users. For example, Nina, a virtual assistant based on NNs, uses a combination of natural language processing and image recognition to interact with users. Nina is powered by a recurrent neural network, which is capable of understanding and responding to natural language. Neural networks are also used to create realistic images in virtual reality. For example, NVIDIA's GameGAN NN uses a generative adversarial network to create realistic images of virtual environments. The NN is trained on a dataset of real-world images and can generate new images that are indistinguishable from real-world images.

Texture scaling using neural networks has several advantages over traditional algorithms. Neural networks are able to learn complex patterns, which allows them to produce more accurate results than traditional algorithms. In addition, neural networks can be trained on large data sets, which allows them to produce better results than algorithms that rely on manual functions or predefined rules. Finally, neural networks are able to learn from data in an unsupervised manner, making them well suited for tasks such as texture scaling where manual labeling of data is not possible or appropriate.

Ray tracing is a technique used to create realistic images in virtual reality applications. It involves tracking the path of light rays as they interact with objects in a virtual environment. This technique is used to create realistic lighting and shadows, as well as reflections and refractions. The results are usually more realistic than those created by traditional rendering methods. The following approach is shown on Figure 2, where visually presented vectorized light tracing and its concurrent rim lighting and ambient lighting.

In general, the use cases for neural networks within virtual reality systems could be described as follows:

- Generate and scale high-quality textures for virtual reality graphics engines;
- Using neural networks to calculate and model lighting behavior in virtual reality;
- Algorithm for finding the path of virtual reality objects in real time using neural networks.
- Using convolutional neural networks for Unity3D systems. Interactive virtual reality in real time.
- Usage of large language models (LLMs) to enhance user interaction with language-based elements such as NPCs, tutoring, dialog-based UI, etc.

IV. SHORTCOMINGS OF VIRTUAL REALITY NEURAL NETWORKS IMPLEMENTATION

One of the main challenges of using ML for virtual reality applications is the limited availability of data. ANNs require large amounts of data to train and produce accurate results. However, in the case of VR applications, the amount of available data is often limited. This can be due to various factors, such as the limited amount of data available in a particular field or the difficulty of collecting data in a VR environment. As a result, the performance of an ANN can significantly decrease when working with a limited amount of data. [6]

This problem is further compounded by the fact that NNs require data that is representative of a specific task or application. For example, if a NN is used to identify objects in a virtual reality environment, the data must be representative of the objects in that environment. This can be challenging because the data may not be available or of sufficient quality. In addition, it can be difficult to train a NN when only a small amount of data is available, as the NN may not be able to acquire the necessary patterns or features.

Despite the challenges associated with limited data availability, there are a number of potential solutions that can be used to address this issue. One of the simplest solutions is to collect more data. Collecting more data can help ensure that the data is representative of the task at hand, and provide the NS with more information from which to learn. However, this approach may not always be feasible, as collecting large amounts of data can be difficult or expensive.[7]

Also, one of the main problems associated with using ANNs for VR is their high computing power requirements. ANNs are generally considered computationally intensive, which means that they require a large amount of computing power to function correctly. This is due to the fact that ANNs consist of many layers of neurons, each of which must be computed to obtain the desired results. As a result, the size of the network can quickly grow exponentially, leading to the need for more computing power to process data efficiently.

In addition to the size of the network, the complexity of the data being processed is also a factor in determining the amount of computing power required. For example, if the input data is very complex (e.g., images or video), then more computing power is required to process it correctly. Likewise, if the data is large (e.g., high-resolution images or video), the network will need more computing power to process it. Thus, the size and complexity of the data being processed by the network are important factors to consider when determining the required computing power.

Due to the high computing power requirements of ANNs, it is often impossible to run them on standard computers or laptops. In order to get the best results, it is often necessary to use powerful servers or specialized hardware such as GPUs or TPUs. This can be expensive, both in terms of hardware cost and ongoing maintenance costs associated with running a powerful server.

V. CONCLUSION

This paper presents a comprehensive examination of contemporary methods for incorporating augmented reality in conjunction with virtual reality devices and conventional smartphones. Through an analysis of augmented systems, the primary sub-tasks were excluded. A classification list of recognition tasks and their implementation details was compiled based on criteria pertaining to the type of augmented reality, control mode, and usage approach. To address these tasks, the utilization of convolutional neural network or generative neural network systems is recommended as the optimal approach for image recognition, enhancement, and processing at the present time. In order to deploy these neural networks for image processing, the fundamental essentials of neural network application, including the structural scheme of the virtual reality system, were considered. The limitations of neural network applications were also demonstrated.

REFERENCES

- [1] Iveta Mrazova, Marek Kukacka. "Hybrid convolutional neural networks" IEEE International Conference on Industrial Informatics 10.1109/INDIN.2008.4618146.
- [2] Y. Jia, E. Shelhamer, J. Donahue, S. Karayev, J. Long, R. Girshick, S. Guadarrama, and T. Darrell, "Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding," in Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia. ACM, 2014, pp. 675–678.
- [3] Chaitanya Nagpal and Shiv Ram Dubey. "A Performance Evaluation of Convolutional Neural Networks for Face Anti Spoofing".
- [4] Iveta Mrazova, Marek Kukacka. "Hybrid convolutional neural networks" IEEE International Conference on Industrial Informatics 10.1109/INDIN.2008.4618146.
- [5] Y. Jia, E. Shelhamer, J. Donahue, S. Karayev, J. Long, R. Girshick, S. Guadarrama, and T. Darrell, "Caffe: Convolutional architecture for fast feature embedding," in Proceedings of the 22nd ACM international conference on Multimedia. ACM, 2014, pp. 675–678.
- [6] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," 2014.
- [7] J. Long, E. Shelhamer, and T. Darrell, "Fully convolutional networks for semantic segmentation," in Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, 2015, pp. 3431–3440.

Структурна динаміка програмного агента інформаційного моніторингу

Сергій Голуб

кафедра програмного забезпечення автоматизованих
систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
s.holub@chdtu.edu.ua

Вадим Немченко

кафедра програмного забезпечення автоматизованих
систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
v.nemchenko@chdtu.edu.ua

Руслан Немов

кафедра програмного забезпечення автоматизованих
систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
r.nemov@chdtu.edu.ua

Structural dynamics of the information monitoring software agent

Serhii Holub

Department of automated systems software
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
s.holub@chdtu.edu.ua

Vadim Nemchenko

Department of automated systems software
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
v.nemchenko@chdtu.edu.ua

Ruslan Nemov

Department of automated systems software
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
r.nemov@chdtu.edu.ua

Анотація — Описаний процес адаптації структури моніторингового програмного агента при заміні його завдання. Досліджується структурна динаміка програмного агента, який виконує одне із завдань інформаційного моніторингу – інтелектуальний аналіз друкованого тексту. Подані поняття інформаційного моніторингу, інтелектуального агента, описані характеристики моніторингових інтелектуальних агентів. Описаний агентний підхід до реалізації моніторингової інформаційної системи, яка здатна забезпечити розв'язок інтелектуальних задач класифікації текстів, структурної, параметричної та функціональної ідентифікації агентних моделей. Описані процеси, що визначають структурну динаміку моніторингового програмного агента при зміні його завдання.

Abstract — The process of adapting the structure of the monitoring software agent when replacing its task is described. The structural dynamics of the software agent, which performs one of the tasks

of information monitoring - intellectual analysis of printed text, is studied. Concepts of information monitoring, intelligent agent are presented, characteristics of monitoring intelligent agents are described. An agent approach to the implementation of a monitoring information system is described, which is able to provide a solution to the intellectual problems of text classification, structural, parametric and functional identification of agent models. The processes that determine the structural dynamics of the monitoring software agent when its task is changed are described

Ключові слова — програмний агент, структурна динаміка, інтелектуальний аналіз друкованих текстів, інформаційний моніторинг.

Keywords — software agent, structural dynamics, intellectual analysis of texts, content analysis, information monitoring.

I. ВСТУП

В умовах сучасного розвитку інтелектуальних інформаційних технологій особливе місце займають моніторингові програмні агенти. На сьогодні програмний агент визначається як автономний процес, здатний до співпраці як із користувачем так із іншими агентами. Основна властивість, яка відрізняє агентів від об'єктів або процесів, це можливість функціонувати у автономному режимі, виконувати завдання із моніторингу і, у разі потреби, проявляти інтелект.

На сьогодні вважається [1], що інтелектуальними (рис. 1) можуть бути різноманітні боти, особисті агенти, інформаційні агенти тощо. На думку авторів при побудові моніторингового середовища програмні агенти треба використовувати для збору, збереження, обробки результатів спостережень, для видобування із них інформації та знань. Боти доцільно використовувати для виконання функцій, які не пов'язані із використанням інтелекту – реалізації керуючих впливів за заданими алгоритмами.

Незалежно від того, яку форму вони мають, моніторингові інтелектуальні агенти повинні мати одну або декілька з таких характеристик, поданих у [1]:

- автономність: здатність самостійно виконувати агентні завдання, плануючи, реалізуючи та контролюючи власні дії;
- адаптивність: здатність до навчання, зміни стратегії поведінки при зміні зовнішнього середовища з метою виконання агентного завдання;
- соціальність: можливість взаємодіяти із людиною – дослідником та іншими агентами для використання результатів їх роботи з метою виконання агентного завдання;
- мобільність: з метою отримання необхідної інформації та реалізації інших дій у процесі виконання агентного завдання здатність використовувати ресурси або переходити з однієї машини/системи на іншу в мережі Інтернет;
- цілеспрямованість: здатність діяти відповідно до вбудованих цілей і завдань;
- комунікабельність: здатність спілкуватися з людьми або іншими агентами;
- інтелект: здатність розв'язувати інтелектуальні задачі у процесі формування та адаптації елементів власної структури за умови зміни агентних завдань або кризової зміни властивостей об'єктів оточуючого середовища. Перш за все мова йде про здатність агента забезпечити виконання агентного завдання за описаних умов за рахунок вирішення задачі класифікації, ідентифікації, прогнозування, параметричної оптимізації у процесі перебудови агентних моделей та структури агентної бази модельних знань. Інтелектуальна поведінка моніторингового агента реалізується через міркування, узагальнення, навчання, зниження

невизначеності, використання евристики та обробку природної мови [1].

Дослідження, описані у цій роботі, проводились із метою використання агентного підходу при створенні моніторингової інформаційної системи, призначеної для інтелектуального аналізу друкованих текстів як елемента інформаційного моніторингу.

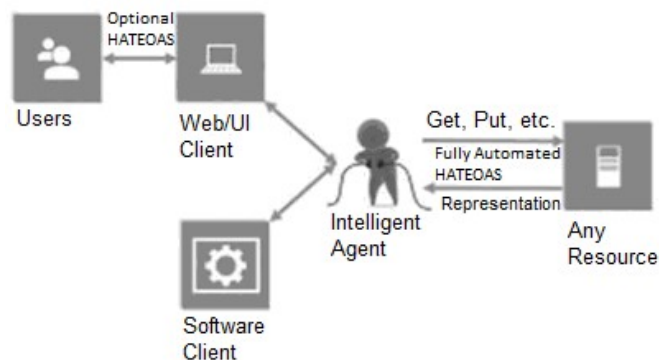


Рис. 1. Архітектура інтелектуальних агентів [3]

II. ІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ

Моніторинг – це технологія забезпечення інформацією процесів прийняття рішень шляхом організації неперервних спостережень та обробки їх результатів. Інтелектуальний моніторинг містить додатковий етап обробки результатів спостережень – видобування із них знань [2].

Інформаційний моніторинг передбачає неперервну консолідацію відомостей про властивості об'єкта, отриманих із інтелектуального аналізу друкованих текстів, аудіо- та відеоповідомлень, із повідомлень соціальних мереж, при обробці архівних даних [2].

III. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

В цій роботі розв'язується задача класифікації друкованих текстових повідомлень моніторинговими програмними агентами.. Досліджується структурна динаміка програмного агента на різних етапах інтелектуального аналізу тексту при зміні агентного завдання. Наприклад, після виконання задачі атрибуції, якщо образа автора тестового повідомлення не виявилось у базі модельних знань, агент повинен послідовно виконати завдання із визначення віку автора, його національності, статі, місця народження, освіти та інших.

IV. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДРУКОВАНИХ ТЕКСТІВ

Для формування словника ознак агент забезпечує декомпозицію текстів до рівня знаків і із окремих знаків будує ознаки текстів. Друковані текстові повідомлення розбиваються на окремі ділянки фіксованого об'єму. Властивості кожної ділянки характеризує вектор ознак із словника. Кожен вектор ознак – це точка спостереження масиву вхідних даних (МВД). МВД являє собою поєднання точок спостереження у багатовимірному просторі ознак кількох текстів. Чисельні характеристики МВД подаються

на вхід агентного синтезатора моделей (АСМ). У залежності від задачі синтезатор буде модель-класифікатор, ідентифікатор функціональної залежності, предиктор (прогнозу модель) або інший тип агентної моделі.

При зміні завдання агент перебудовує словник ознак і масив вхідних даних. Змінюються зв'язки між елементами окремої агентної моделі та між моделями бази модельних знань. Структура агента автоматично адаптується до нових завдань. Структурна схема моніторингового програмного агента подана на рисунку 2.



Рис. 2. Структура програмного агента для інтелектуального аналізу текстів

Структурна схема програмного агента для інтелектуального аналізу текстів містить: агентну базу даних, синтезатор моделей (що буде словник ознак і формує МВД із ПО результатів спостережень), базу модельних знань (БМЗ), контролер стану агента.

Контролер стану агента визначає якість моделей – їх характеристики точності, адекватності моделей. Якщо всі моделі стійкі, контролер забезпечує подачу сигналу із виходу бази модельних знань на вихід агента – агент

перебуває у стані "Активний". Якщо результати перетворення даних на виході якоїсь із моделей гірше наперед заданих значень точності і адекватності, то контролер не передає сигнал із виходу БМЗ на вихід агента, агент переводиться у стан "Неактивний" і активізується синтезатор моделей для заміни нестійкої моделі [4].

ВИСНОВКИ

Забезпечення адаптивності змін структури програмного агента до нових завдань забезпечується шляхом формування іншого словника ознак. Це дозволяє побудувати нові точки спостереження, синтезувати інші моделі та сформувати нову структуру бази модельних знань.

Аналізуючи виконання агентних завдань з класифікації текстів основною задачею залишається підвищення інформативності масиву вхідних даних.

В роботі подається опис нових методів побудови масиву вхідних даних, словників ознак та методів побудови моделей класифікаторів, які забезпечують зміну структури (структурну динаміку) моніторингового програмного агента при зміні його завдання.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [8] S. V. Holub, D. B. Tolbatov, "Method of synthesis of a multy-layer monitoring model software agent" [Online]. Available: http://www.immsp.kiev.ua/publications/articles/2023/2023_1/01_23_Holub.pdf.
- [9] S. V. Holub, "Agent functions in technologies intelligent data processing" [Online]. Available: https://skid.lpnu.ua/wp-content/uploads/2022/05/ICCS2022_Proceedings.pdf#page=216.
- [3] The nextparadigm in software architecture: agent-oriented architecture (AOA) [Online]. Available: <https://www.thinkebiz.net/next-paradigm-software-architecture-agent-oriented-architectureaao>.
- [4] Голуб С.В., Куницька С.Ю., Толбатов Д.В. Агентний підхід до реалізації програмного забезпечення інформаційної системи короткотривалого прогнозування. Сучасна спеціальна техніка 2021. №4 (67). С.52-62.

Using Machine Learning (ML) models for computing VIIRS-like nighttime lights based on DMSP satellite data

Taras Kutsyk

Department of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
taras.kutsyk.pm.2019@lpnu.ua

Vitaliy Kinakh

Department of Computer Science
University of Geneva
Geneva, Switzerland
vitaliy.kinakh@unige.ch

Tomohiro Oda

Earth from Space Institute, Universities Space Research
Association (USRA), Washington DC, USA
Department of Atmospheric and Oceanic Science, University
of Maryland, College Park, MD, USA
Graduate School of Engineering, Osaka University, Osaka,
Japan
toda@usra.edu

Rostyslav Bun

Department of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
rostyslav.a.bun@lpnu.ua

Використання моделей машинного навчання для обчислення даних нічного освітлення типу VIIRS на основі супутникових даних DMSP

Тарас Куцик

Кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
taras.kutsyk.pm.2019@lpnu.ua

Віталій Кінах

Кафедра комп'ютерних наук
Женевський університет
Женева, Швейцарія
vitaliy.kinakh@unige.ch

Томохіро Ода

Інститут «Earth from Space», Асоціація «Universities Space
Research», Вашингтон, округ Колумбія, США
Кафедра атмосферних та океанічних наук, Університет
Меріленду, Коледж-Парк, Меріленд, США
Кафедра вищої інженерії, Університет Осаки, Осака,
Японія
toda@usra.edu

Ростислав Бунь

Кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
rostyslav.a.bun@lpnu.ua

Abstract— Nighttime light (NTL) satellite data have been heavily used for a variety of global human activity monitoring: economic trends, processes of urbanization, greenhouse gas (GHG) emissions etc. The pioneering DMSP NTL data are available from 1992 to 2013. VIIRS NTL data have addressed several known challenges in DMSP NTL (lower spatial resolution, smaller dynamic range of values, and no on-board calibration); however, the VIIRS NTL data are only available from 2012. This work develops several methods for calculating VIIRS-like data for

the missing years of 1992-2012 using calibrated DMSP NTL data, additional Landsat 7, and MODIS satellite data. Different from previous attempts, which used autoencoder neural networks, we show that much simpler models can be just as effective for this task. We explain this by considering a notion of receptive field: amount of spatial information a model takes into account for predicting the value of each output pixel. Our main finding is that models with smaller receptive fields can still perform decently well

and, at times, outperform larger autoencoder models while being more computationally efficient and faster to train.

Анотація— Супутникові дані нічного освітлення широко використовуються для моніторингу різноманітних аспектів глобальної діяльності людини: економічних тенденцій, процесів урбанізації, емісії парникових газів тощо. Першими з таких даних були DMSP, які доступні з 1992 по 2013 рік. Дані VIIRS вирішили кілька відомих проблем DMSP (нижча роздільна здатність, менший динамічний діапазон значень і відсутність бортового калібрування); однак дані VIIRS доступні лише з 2012 року. У цій роботі розроблено кілька методів обчислення даних типу VIIRS, для років 1992-2012, коли вони не були доступні, з використанням каліброваних даних DMSP, додаткових супутникових даних Landsat 7 і MODIS. На відміну від попередніх робіт, які використовували нейронні мережі-автоенкодера, ми показуємо, що набагато простіші моделі можуть бути настільки ж ефективними для цієї задачі. Ми пояснюємо це, розглядаючи поняття рецептивного поля: кількість просторової інформації, яку модель враховує для прогнозування значення кожного вихідного пікселя. Наш основний висновок полягає в тому, що моделі з меншими рецептивними полями можуть так само приносити хороші результати, а іноді й перевершувати моделі автоенкодерів, будучи при цьому ефективнішими в плані економії обчислювальних ресурсів та часу тренування.

Keywords— Satellite remote sensing; nighttime light data; satellite data; VIIRS; DMSP; VIIRS-like; machine learning; deep learning.

Ключові слова— супутникове дистанційне зондування; дані нічного освітлення; супутникові дані; VIIRS; DMSP, дані типу VIIRS; машинне навчання; глибинне навчання.

I. INTRODUCTION

Nighttime lights (NTL) take an important place among global remote sensing data products due to their strong correlation with human activities. Previous studies have effectively utilized NTL data to explore areas such as economic development [1], power consumption [2], artificial light pollution [3], mapping city boundaries [4], CO₂ emissions [5] etc.

NTL data have been collected mainly by two sensors: Defense Meteorological Satellite Program Operational Linescan System (DMSP-OLS) and National Polar-Orbiting Partnership Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (NPP-VIIRS). DMSP NTL data have been available since 1992 up to 2013 (Stable Lights products), whereas VIIRS NTL data have been available since 2012. DMSP data have a lower spatial resolution than VIIRS data, a limited dynamic range, and are not calibrated during data collection. In contrast, VIIRS data offer several improvements over DMSP: lower light detection limit, a wider dynamic range and on-board calibration [6].

DMSP data are known to suffer from a significant loss of detail in city centers – a defect called "saturation". It means that pixels within brightly lit urban areas often reach its maximum value, leaving out all fine-grained information that may be important for the different application areas mentioned previously. The saturation effect can be observed in Fig. 1 and Fig. 2, where both DMSP and VIIRS imagery are visualized for a city of Krakow, Poland.

Another challenge of DMSP data is that it does not report values as radiance, but in digital numbers (DN). DN is a relative unit, which means that the same DN number can correspond to different radiance values depending on the satellite generation, on-board sensor settings, and year of operation. DMSP uses 6-bit quantization, resulting in DN values having a discrete range of 0-63.

Although VIIRS data are free from these challenges, their time span may be insufficient for some applications where longer-term analysis is required. In this light, we propose a machine learning (ML) based approach for producing VIIRS-like data for the years when they are not available. We examine different models and assess their performance.

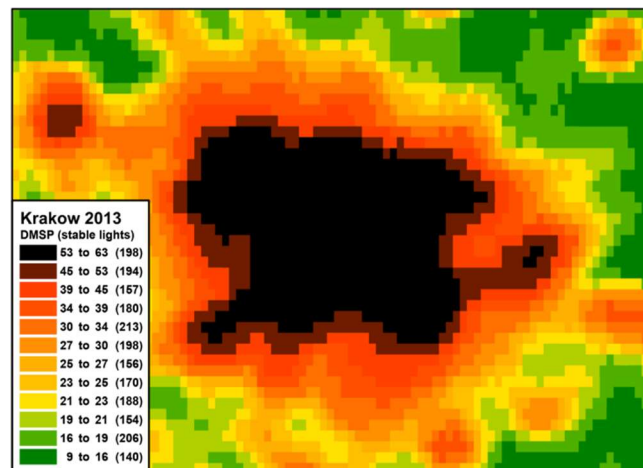


Fig. 1. DMSP annual composite. Krakow, 2013, relative units.

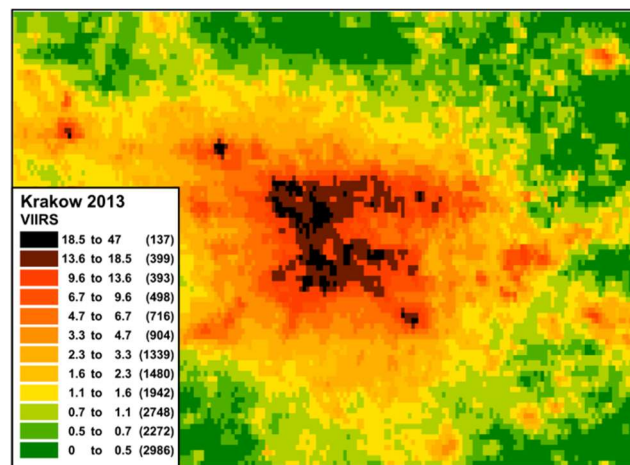


Fig. 2. VIIRS median annual composite. Krakow, 2013, nW/cm²/sr.

II. INPUT DATA

A. DMSP-OLS

In this study, we use annual DMSP composites available on the Colorado School of Mines' website [7]. These composites are created by excluding observations with clouds and lunar luminance, and averaging the remaining observations. By using them as input for our ML models, we upscale them to match the resolution of VIIRS data using bilinear interpolation. To further adapt the DMSP data for conversion to VIIRS-like

data, we perform the empirical calibration, which involves two steps.

The first step is intercalibration – a process of calibrating the DMSP data so that they can be compared across different years and satellites. The 2nd order polynomial regression was used to determine the calibration coefficients [8]. This operation does not eliminate DMSP data saturation.

The second step is radiance calibration – a process that eliminates DMSP data saturation. Initially, the DMSP team produced a total of eight radiance-calibrated datasets based on pre-flight calibration of each OLS sensor [9]. However, these datasets only cover the years 1996, 1999, 2000, 2003, 2004, 2006, 2010 and 2011. So to use them as input for the full 1992-2012 VIIRS-like time series, extrapolation is required. We adopt a ML-based approach proposed in [10], which utilizes different ML regression models trained on years when both DMSP and DMSP radiance calibrated data are available.

B. NPP-VIIRS

We use VIIRS data in the form of annual VNL V2 composites, which are also available on the Colorado School of Mines' website [11]. These composites are created from monthly cloud-free composites using an improved filtering method that eliminates noise such as oil rigs, moonlight, polar lights, and other sources of contamination. Additionally, the composites remove outliers to discard biomass burning pixels and isolate the background.

Instead of the typical average composites, we chose to use median masked composites because the monthly VIIRS data used to prepare the annual composites were contaminated by scattered light in certain regions throughout the summer. The contaminated pixels are marked as 0 in the monthly data, so using the average value may underestimate the actual value of nighttime lighting.

C. Landsat 7

Landsat 7 is a satellite that provides daytime imagery of the Earth's surface. The satellite sensor acquires data in eight spectral bands, including visible bands (red, green, blue), infrared and thermal. In this study, we used both Landsat 7 Raw and SR (surface reflectance) data. Raw data are unprocessed data that are downloaded directly from the satellite and may contain radiometric distortions. SR data are corrected for atmospheric effects and provide a more accurate representation of land surface features.

D. MODIS

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is an instrument aboard two NASA Earth Observing System (EOS) satellites, Terra and Aqua. The instrument collects data in 36 spectral bands, ranging from the visible to the thermal infrared. MODIS data are available in different processing levels, ranging from raw data to various derived products such as vegetation indices, land surface temperature, and ocean color. In this study, we used the MODIS MOD13A1 vegetation index product.

Both Landsat 7 and MODIS data are downloaded from Google Earth Engine platform, and are rescaled to match the VIIRS data resolution using bilinear interpolation.

III. MACHINE LEARNING APPROACH AND MODELS

Since DMSP and VIIRS data are both available for 2012 and 2013, it is possible to create a training dataset consisting of *input-output* pairs, where *input* is a concatenation of the calibrated DMSP, Landsat 7, and MODIS data, and *output* (also referred to as label or target) is the corresponding VIIRS data for the same area and year. With this dataset, various ML models can be used to learn how to map the input to the desired output. This ML approach is known as supervised learning.

Convolutional neural networks (CNNs) have traditionally been a popular choice for image processing tasks such as classification or object detection. In this particular task, several autoencoder CNN models have been previously used for calculating VIIRS-like data [10, 12]. However, in this study, we took a different approach and compared the performance of CNN models with regression models that are commonly used in other areas.

A. Convolutional neural networks

Fig. 3 provides a high-level overview of the training process for CNNs used in this study. First, the CNNs are initialized with random parameters and produce an output, which is then compared to the desired (target) output by means of calculating a loss function - a measure of dissimilarity between two variables (in this case, mean squared error). To optimize the models, it is necessary to identify how their parameters should be adjusted, that is, which parameters to increase or decrease, and in what proportion, in order to minimize the loss function. This is achieved through the backpropagation algorithm, which utilizes information about the derivatives of the loss function with respect to the model parameters.

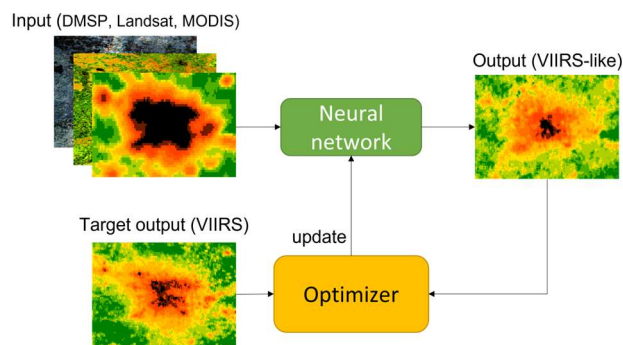


Fig. 3. Training CNN models

This optimization step is first repeated for all the input-target pairs in the training dataset, which is known as one epoch of training. Then the training continues for a pre-specified number of epochs to further minimize the loss function.

1) Simple CNNs

One of the simplest CNNs we tested is a stack of convolutional layers. A convolutional layer is a module that performs a convolution operation, which is illustrated in Fig. 4.

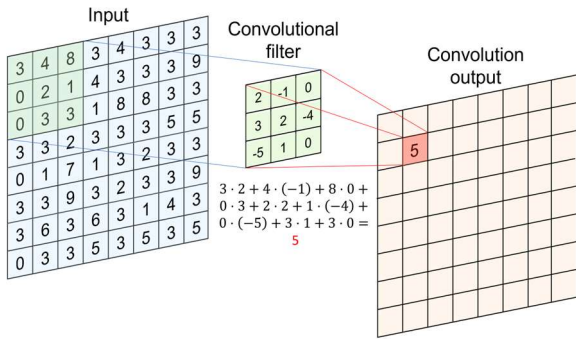


Fig. 4. Convolution operation

In the context of image processing, a convolution can be seen as using a sliding window of values, known as a convolution filter or kernel, to compute pair-wise products between the input values and the filter values (parameters) and add them all up. Depending on the filter parameters, learned by a CNN, various information can be extracted from the input image that is useful for making a prediction. One additional step in convolutional layers is to transform a convolution output with a non-linear activation function, which is necessary to learn non-linear features in the input data. In our study, we use the ReLU function for this purpose.

Fig. 4 illustrates a simplified example with one input and output channel. In our task, we have multiple input channels: from DMSP, Landsat 7, and MODIS data. In this case, each channel is convolved with its own filter to produce a separate convolution output matrix. The final convolution result, or a feature map, is obtained by summing all these matrices. A convolutional layer can also have multi-channel output by repeating a convolution operation with multiple sets of filters with different values.

In our experiments, we used the 64-channel output of the convolutional layer with 3x3 convolutional filters and a stride value (filter step size) of 1. Following this layer, we employed an additional batch-normalization layer, which helps to stabilize and accelerate the training process by normalizing the convolution output with learnable parameters. To transform the normalized output into the final single-channel VIIRS-like image, we used another convolutional layer with 1x1 filters, which sums up all the 64 feature maps with learnable weights. Henceforward, we refer to this architecture as SimpleCNN.

2) UNet

UNet is an autoencoder CNN model that was originally proposed for medical image segmentation [13]. Since its inception, however, it has been also utilized for other tasks such as regression for multidimensional spaces (usually images), pixel-by-pixel regression in images, satellite data segmentation, volumetric segmentation, and others. We use a modified version of the UNet model as proposed in [10].

The UNet model consists of two parts: an encoder and a decoder. The encoder is a module that takes the original input data and compresses them into a low-dimensional, high-level representation. The representation is then fed into the decoder, which reconstructs the target VIIRS-like image. This architecture is illustrated in Fig. 5.

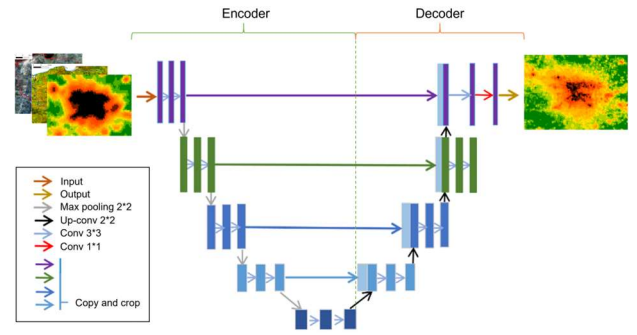


Fig. 5. UNet architecture

In the encoder, every other convolutional layer (except for the last one) is followed by a max pooling layer. Max pooling is an operation that divides the convolution feature map into 2x2 regions and selects the maximum value from each region while discarding all other pixels. This reduces each feature map dimension by a factor of 2, compelling the encoder to learn progressively more abstract features with each layer.

In the decoder, bilinear interpolation is used to upscale the encoder output by a factor of 2 in each dimension. Then, the two convolutional layers are applied to the upscaled feature map, concatenated with a feature map from the corresponding layer of the encoder. This concatenation is known as a "skip connection" and plays an essential role in restoring precise local information in the output NTL image.

Our modification of the model consists of several aspects. Firstly, we use "same" padding in the convolutional layers to preserve the output size. Secondly, our convolutional layers in the encoder are followed by batch normalization layers. Finally, we use bilinear interpolation instead of 2x2 up-convolutions in the decoder to reduce the model complexity and training time.

B. Regression models

At first glance, it may seem that regression models, which operate on vector-like input variables, are unsuitable for image processing tasks. However, if the variability of a pixel (e.g., VIIRS image) is mostly explained by the variability of the corresponding input pixel across all the input channels (e.g., DMSP, Landsat 7, MODIS), then regression models can yield surprisingly good results. This approach is schematically illustrated in Fig. 6.

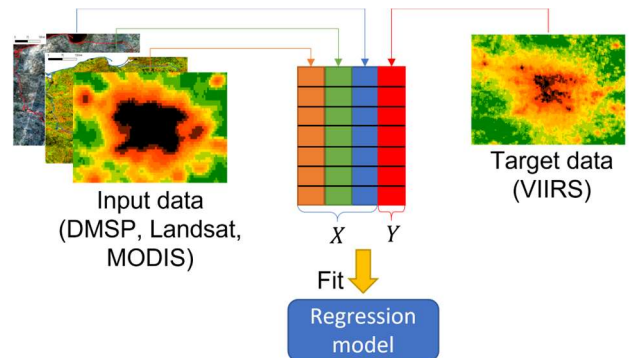


Fig. 6. Regression approach

With this approach, all input channels are flattened into arrays of values that form the columns of the tabular data. The label (target) column is the flattened VIIRS image for the same area and year. The data are then used to train (fit) a regression model.

In this way, we essentially ignore all spatial information about which pixels are adjacent to each other and treat them only as different samples of a vector variable. This approach lets us test how important spatial information is for predicting an NTL-value.

Two regression models that were chosen are based on combining predictions from different decision trees. A decision tree can be seen as a piecewise constant approximation that predicts the value of a target variable by learning simple decision rules inferred from the data structure. As shown in Fig. 7, these rules are just binary splits, where the splitting criterion is chosen to minimize a certain measure of impurity, which can vary between different decision tree models.

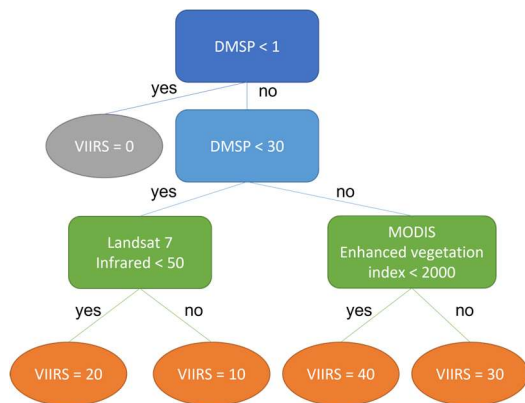


Fig. 7. Decision tree for regression

Decision trees can be used as stand-alone models, however, they suffer from multiple disadvantages:

- decision trees have a tendency to create over-complex structures that do not generalize well to new data; to avoid this problem, mechanisms such as pruning, setting a minimum number of samples required at a leaf node, or limiting the maximum depth of the tree can be applied;
- decision trees can be unstable, meaning that small variations in the data may result in a completely different tree being generated.

The instability issue can be mitigated by training multiple trees in an ensemble learner, which is discussed in the following sections.

1) Random Forest

Random forest is an ensemble learning method that applies a technique known as “bagging” (bootstrap aggregating) to training multiple decision trees. The idea is that each tree is fit on a randomly drawn (with replacement) subsample of the original training dataset. Additionally, when looking for the best split in each tree, only a random subset of the total features is considered. In the context of random forest regressors, finding the best split means finding a threshold value for a particular

feature that divides the data samples into two subsets, such that the combined mean squared error (weighted average error) across both subsets is minimized compared to all possible splits. The mean squared error is calculated between true target values and predictions for the given subset, which are taken as the mean value of the subset.

A random forest combines the predictions of multiple trees by taking their mean value. Under the conditions mentioned above, the predictions of individual trees become less correlated, so the mean value of their predictions actually has a lower variance than each of the individual trees [14]. This means that the model becomes less sensitive to slight variations in the input data, resulting in better generalization to new data.

2) LightGBM

LightGBM is a ML model that implements gradient boosting, hence the name GBM (gradient boosting machine). In this technique, multiple trees are trained sequentially, so that each subsequent tree fits the residual (error) of the previous tree. The final model prediction is therefore the sum of all the tree predictions. Unlike in random forest, the trees in GBMs are constructed to minimize a certain loss function using gradient descent. This loss function accounts not only for the measure of impurity (e.g., mean squared error) but also for the complexity of the tree. The goal is to penalize more complex trees, as they tend to generalize poorly to new data.

Compared to traditional boosted trees (such as XGBoost), LightGBM uses a novel technique called Gradient-based One-Side Sampling (GOSS). The idea behind GOSS is that new trees should focus not on the instances with small gradients that are often already well-fit, but on the instances with larger gradients that are harder to fit. This approach significantly reduces the amount of data that needs to be processed, resulting in much faster training times and reduced memory usage. Additionally, LightGBM uses a leaf-wise tree growth strategy instead of the traditional level-wise strategy, further improving training speed and accuracy [15].

IV. RECEPTIVE FIELD

One of the key differences between the mentioned models is the amount of spatial information they utilize, that is, number of input pixels used for making a prediction for a particular output pixel. This concept can be formalized in the notion of receptive field, which is defined as the size of the region in the input image that is mapped to an output pixel.

Our initial objective in comparing various ML models was to investigate whether reducing the model's receptive field could lead to more accurate results. On the one hand, many small towns and villages in the modern world are well-electricified, leading to sudden spikes in the NTL data distribution for such areas, which cannot be easily predicted based on the information about adjacent pixels. Therefore, with smaller receptive field, the model may focus on more relevant local information for making predictions. On the other hand, reducing the receptive field may also result in the model missing out on the context of the area while computing VIIRS-like data. Nevertheless, to confirm the effect of the receptive field, we will first calculate its value for our models.

A. Regression models

By reducing the task to a regression problem, as depicted in Fig. 6, it becomes evident that regression models do not consider any spatial information, treating each pixel as an independent sample. Thus, for both Random Forest and Light GBM models, we can conclude that the receptive field is 1x1.

B. SimpleCNN

As mentioned before, our SimpleCNN architecture has only one hidden convolutional layer. This means that the receptive field for this model is equal to the convolutional filter size in this layer, which is 3x3, as shown in Fig. 4.

C. UNet

Since UNet is a considerably more complex autoencoder model, our main focus lies in analyzing the receptive field of its first single-path module, namely the encoder. As depicted in Fig. 5, the encoder comprises four blocks of two convolutional layers followed by max pooling, along with an additional block of two convolutional layers, resulting in a total of 14 layers. To calculate the receptive field of this structure, we can employ a formula proposed in [16]:

$$RF = \sum_{j=1}^{14} \left((k_j - 1) \prod_{i=1}^{j-1} s_i \right) + 1,$$

where k_j is the kernel (window) size of the j -th layer, and s_i is the stride value (kernel step size) of the i -th layer.

Before applying this formula, one needs to observe that the impact of max pooling layers on the receptive field is equivalent to that of a 2x2 convolutional layer with stride 2. In both cases, the input is partitioned into a 2x2 grid, and from each cell of four values only one value is retained to generate the output. Therefore, we can express our k - and s -values as follows:

$$k_j = \begin{cases} 3, & j \neq 3n, \\ 2, & j = 3n; \end{cases} \quad s_i = \begin{cases} 1, & i \neq 3n, \\ 2, & i = 3n; \end{cases} \quad n = \overline{1, 4}.$$

Substituting these values into the formula, we get:

$$RF = 1 \cdot 5 + 2 \cdot 5 + 4 \cdot 5 + 8 \cdot 5 + 16 \cdot 4 + 1 = 140.$$

And so, the receptive field of the UNet encoder is 140x140. As mentioned earlier, the encoder output is fed into the decoder, where it is upsampled, concatenated with feature maps from previous layers, and convolved in 3x3 convolutional layers. This implies that the receptive field of the UNet model cannot be smaller than that of the encoder, so we can establish the lower bound to be 140, given sufficient input size. We are not concerned with the precise receptive field value because it can be truncated by using the input image size less than 140x140. In our study, we use the input size of 16x16, so this can be finally considered as the receptive field of our UNet model.

It is worth noting that 16x16 is the smallest possible size of input images for the UNet model, and thus the smallest possible receptive field. This is because 4 max pooling layers are used in the encoder, resulting in a 2^4 reduction in size.

V. RESULTS

To validate and compare our ML models, we employ two different evaluation techniques.

- Validating on different territories within the years of the training data (2012, 2013). This allows us to test the models' generalization abilities to compute accurate VIIRS-like data for territories that were not part of their training dataset.
- Validating on the same territory but for a different year (2012), while training the models on 2013-year data. Although this is not a traditional validation technique, it aligns more closely with real-world usage scenarios, as we can always train a model on the territory for which we want to compute VIIRS-like data.

In both scenarios, we train our models using data of Polish cities Wroclaw, Poznan, and several towns located to the west (Legnica, Lubin, Glogow). These training data cover an approximate total area of 230x260 km.

A. Generalization Validation

To assess the generalization of our models to new territories, we use an approach called k -fold cross-validation. In this technique, the original dataset is divided into k equally sized, non-overlapping groups, known as folds. Then the models are validated on each fold, using the remaining folds as training data. For instance, when validating on the second fold, the models are trained on folds 1, 3, ..., k .

In our case, we use 5 folds that are obtained by partitioning the training dataset based on longitude. Specifically, the first fold comprises the westernmost 20% of the training raster maps, while the last fold – easternmost 20% portion. The validation process involves calculating a specific metric that measures the similarity between the generated VIIRS-like data and the actual VIIRS data. In this study, we utilize the coefficient of determination (R^2), for which a value of 1 signifies a perfect match. Fig. 8 provides a plot of the R^2 values for each model across all the validation folds.

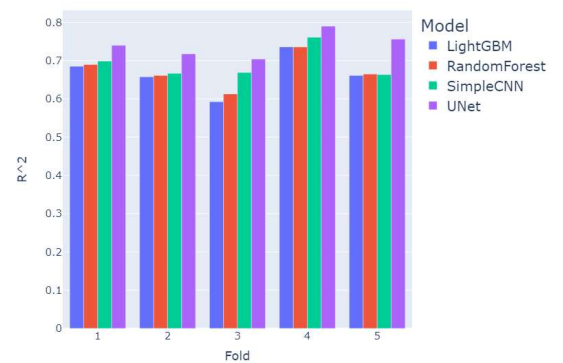


Fig. 8. R^2 (coefficient of determination) comparison between the ML models across different folds of cross-validation.

B. Temporal Validation

In this scenario, we use the complete 2013 dataset to train the models, reserving the 2012 dataset for validation. As in the

previous approach, we compare our VIIRS-like data with the actual 2012 VIIRS data by calculating the coefficient of determination.

TABLE I. MODELS COMPARISON USING TEMPORAL VALIDATION

Model	Coefficient of determination (R^2)
SimpleCNN	0.7489
UNet	0.7252
LightGBM	0.7076
Random Forest	0.6132

It is worth noting that, technically, the models in this validation scenario are different from the models in the previous scenario, except for UNet. While still being of the same architecture, they have different parameters (commonly known as hyperparameters) which determine the exact computational path being employed. This is justified by the fact that the two scenarios represent different tasks, each benefiting from its own set of hyperparameters. In the case of regression models, the hyperparameters are selected through an automated search, whereas for SimpleCNN, the number of convolutional layers is chosen empirically: one layer for the generalization validation and two for the temporal validation (in addition to the 1x1 convolutional layer at the end).

VI. CONCLUSIONS

Our results suggest that in certain scenarios, simpler CNN models can indeed be more efficient for computing VIIRS-like NTL data. However, these simpler models exhibit poorer generalization properties compared to the previously employed UNet model when it comes to new territories. To explain this behavior, it is necessary to consider not only the receptive field of the UNet model but also its structural differences from traditional autoencoder models, as well as the specifics of its training algorithm.

One notable feature of the UNet model, which compensates for its large receptive field, is the utilization of skip connections between the low-level output feature maps of the encoder layers and the high-level input feature maps of the decoder layers. By "low- and high-level feature maps" we are referring to their receptive field. By leveraging both types of feature maps, the model gains access to both fine-grained and highly-abstract information in the decoder.

Additionally, due to the nature of the training algorithm (backpropagation), the UNet model may actually prioritize the low-level feature maps by assigning greater weights to the corresponding parameters of the convolutional layers. This can be indirectly verified by completely removing the skip connections from the UNet architecture and observing how its performance deteriorates without the inclusion of the low-level features in the decoder. We conducted such an experiment and observed a significant decrease in the R^2 score by more than 0.3.

As for the regression models with the smallest receptive field of 1x1, their results were comparable, yet slightly inferior to those of the CNN models. This suggests that although a

significant part of the variation in a VIIRS pixel can be explained by observing its DMSP radiance value and additional satellite imagery data (Landsat 7, MODIS), the surrounding pixels can still reveal valuable information. The Random Forest and LightGBM models demonstrated comparable results in terms of generalization to new territories. However, when we employed temporal validation using the 2012 dataset, the LightGBM model proved to be significantly superior.

REFERENCES

- [1] P.C. Sutton, C.D. Elvidge, and T. Chosh, "Estimation of gross domestic product at sub-national scales using nighttime satellite imagery," *Int. J. Ecol. Econ. Stat.*, vol. 8, pp. 5-21, 2007.
- [2] T.R. Kiran Chand, K.V.S. Badarinath, C.D. Elvidge, and B.T. Tuttle, "Spatial characterization of electrical power consumption patterns over India using temporal DMSP-OLS night-time satellite data," *Int. J. Remote Sens.*, vol. 30, pp. 647-661, 2009.
- [3] J. Bennie, J.P. Duffy, T.W. Davies, M.E. Correa-Cano, and K.J. Gaston, Global trends in exposure to light pollution in natural terrestrial ecosystems, "Remote Sensing," vol. 7(3), 2015, pp. 2715-2730.
- [4] P.C. Sutton, C.D. Elvidge, B.T. Tuttle, D. Ziskin, K. Baugh, and T. Ghosh, "A 2010 mapping of the constructed surface area density for S.E. Asia - Preliminary results," in *Proc. 30th Asia-Pacific Advanced Network Meeting*, Hanoi, Vietnam, 9-13 August 2010.
- [5] T. Oda, and S. Maksyutov, "A very high-resolution (1 km \times 1 km) global fossil fuel CO₂ emission inventory derived using a point source database and satellite observations of nighttime lights," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 11, 2011, pp. 543-556.
- [6] C.D. Elvidge, K.E. Baugh, M. Zhizhin, and F.-C. Hsu, "Why VIIRS data are superior to DMSP for mapping nighttime lights," *Asia-Pacific Advanced Network*, vol. 35, 2013, pp. 62-69.
- [7] DMSP-OLS Nighttime Lights Time Series Version 4, available at: https://eogdata.mines.edu/products/dmsp/#v4_dmsp_download
- [8] C.D. Elvidge, et al., "A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data," *Energies*, vol. 2(3), 2009, pp. 595-622.
- [9] F.-C. Hsu, K. Baugh, T. Ghosh, M. Zhizhin, and C. Elvidge, "DMSP-OLS radiance calibrated nighttime lights time series with intercalibration," *Remote Sensing*, vol. 7(2), 2015, pp. 1855-1876.
- [10] V. Kinakh, "Machine learning-based approach for calibration of the DMSP-OLS nighttime light satellite data and calculation of the NPP-VIIRS data for 1992-2012", MSc thesis, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, 2021.
- [11] NPP-VIIRS Annual VNL V2 composite, available at: https://eogdata.mines.edu/products/vnl/#annual_v2
- [12] Z. Chen, B. Yu, C. Yang, Y. Zhou, S. Yao, X. Qian, C. Wang, B. Wu, and J. Wu, "An extended time series (2000-2018) of global NPP-VIIRS-like nighttime light data from a cross-sensor calibration," *Earth System Science Data*, vol. 13, 2021, pp. 889-906.
- [13] O. Ronneberger, P. Fischer and T. Brox, "U-Net: Convolutional networks for biomedical image segmentation", in Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., & Frangi, A. (Eds.), *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention - MICCAI 2015* (Vol. 9351, pp. 234-241), Springer International Publishing, 2015.
- [14] L. Breiman, "Bagging predictors," *Machine Learning*, vol. 24, 1996, pp. 123-140.
- [15] G. Ke, Q. Meng, T. Finley, T. Wang, W. Chen, W. Ma, Q. Ye, and T.-Y. Liu, "LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree", In *Proceedings of the 31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17)*, 2017, pp. 3149-3157.
- [16] A. Araujo, W. Norris, and J. Sim, "Computing receptive fields of convolutional neural networks," *Distill*, Nov. 2019.

Дослідницький Застосунок для Побудови Моніторингових Агентів

Володимир Остапюк

кафедра програмного забезпечення автоматизованих
систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
v.v.ostapiuk.asp22@chdtu.edu.ua

Сергій Голуб

Кафедра програмного забезпечення автоматизованих
систем
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
s.holub@chdtu.edu.ua

Research application for construction of monitoring agents

Volodymyr Ostapiuk

Department of software for automated systems
Cherkasy state technological university
Cherkasy, Ukraine
v.v.ostapiuk.asp22@chdtu.edu.ua

Serhii Holub

Department of software for automated systems
Cherkasy state technological university
Cherkasy, Ukraine
s.holub@chdtu.edu.ua

Анотація—У даному матеріалі проводиться огляд можливостей частини дослідницької програми з побудови моніторингових агентів, а саме процес моделювання алгоритмів прогнозування з використанням технологій нейронних мереж, а також побудова синтезатора моделей для нейромережових алгоритмів прогнозування часових рядів.

Abstract— This material provides an overview of the capabilities of part of the research program for building monitoring agents, namely the process of modeling forecasting algorithms using neural network technologies, as well as building a model synthesizer for neural network algorithms for time series forecasting

Ключові слова—агент, нейронна мережа, часові ряди, модель, синтезатор моделей

Keywords— agent, neural network, time series, model, model synthesiser

I. ВСТУП

Проблема створення дослідницького застосунку для побудови моніторингових агентів є актуальною для визначення факторів, що впливають на метрики, за допомогою яких можна порівняти різноманітні моделі. Використання нейромережових алгоритмів в синтезаторі моделей дозволяє краще відслідковувати характеристики масиву вхідних даних, а можливість використання різних типів метрик для формування оцінки моделей дозволяє проводити порівняння їх використання для вибору найбільш підходящої моделі.

У даному матеріалі проводиться огляд можливостей розробленого дослідницького застосунку у частині моделювання варіантів вирішення задачі прогнозування числових рядів.

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

A. Огляд можливостей застосунку

Розроблений застосунок для побудови моніторингових агентів дозволяє виконувати такий набір дій, а саме:

1. Завантаження і створення масиву вхідних даних для числових рядів, що представлені в форматі Excel
2. Створення та вибір границь моделювання для кожного синтезатора моделей певної архітектури
3. Вибір метрик, що мають бути обчислені у процесі моделювання для кожної моделі, що буде побудована синтезатором моделей для вибраного масиву вхідних даних
4. Створення і вибір параметрів задачі прогнозування, яку повинна бути здатною вирішувати побудована прогнозна модель
5. Послідовне випробування алгоритмів синтезу моделей для вибраного масиву вхідних даних та вибраних параметрів задачі прогнозування
6. Обчислення вибраних метрик для кожної з побудованих моделей
7. Сортування моделей за обраною метрикою, вибір та збереження моделі з найбільшим/найменшим значенням метрики для можливого подальшого використання

8. Побудова гістограм порівняння значень метрик, обчислених для різних моделей, що були побудовані для вибраного масиву вхідних даних і параметрів прогнозування

9. Використання збереженої моделі для вирішення задачі прогнозування для даних, що пов'язані з масивом вхідних даних

10. Обчислення вибраних метрик для елементів масиву вхідних даних за результатами використання збереженої моделі

В розробленому застосунку використовується синтезатор моделей, який має можливість будувати моделі прогнозування числових рядів, що використовує нейронні мережі певних типів архітектур, а саме::

1. Одновимірна(1D) згортова нейронна мережа[1]

2. Рекурентні нейронні мережі з використанням довгої короткочасної пам'яті(LSTM)[2]

3. Рекурентні нейронні мережі з використанням вентильного рекурентного вузла(GRU)[3]

4. Звичайні рекурентні нейронні мережі[4]

5. Звичайні нейронні мережі

Для кожної архітектури нейронної мережі, що використовується синтезатором моделей для побудови моделей є набір параметрів, що є спільними між різними архітектурами, а також набір параметрів, що є особливими для конкретної архітектури нейронної мережі. Розглянемо параметри, що є спільними для всіх архітектур нейронних мереж, що використовуються в синтезаторі моделей, якими є:

- вибрана функція втрат (loss function);
- вибраний оптимізатор навчання;
- кількість епох навчання;
- вибраний критерій закінчення навчання;
- вибраний розмір пачки навчання.

Тепер розглянемо параметри архітектур нейронних мереж, що є відмінними для кожної з них. Для одновимірної згортової нейронної мережі[1] такими параметрами є:

- кількість фільтрів згортового шару;
- кількість повністю зв'язаних шарів;
- кількість елементів у повністю зв'язаних шарах.

Для рекурентних нейронних мереж всіх типів[4], що використовуються в синтезаторі моделей, такими параметрами є:

- кількість рекурентних блоків
- кількість повністю зв'язаних шарів;
- кількість елементів у повністю зв'язаних шарах.

Для архітектури звичайної нейронної мережі, що використовується в синтезаторі моделей, такими параметрами є:

- кількість елементів у повністю зв'язаних шарах.

У застосунку реалізована можливість конфігурації синтезатора моделей для кожної з архітектур нейронних мереж, що використовується у ньому. Розглянемо, які параметри конфігурації визначені для синтезатора моделей для побудови моделей з архітектурою одновимірної згортової нейронної мережі:

- дільник кількості фільтрів згортового шару - параметр, що характеризує, на яке число має ділитися кількість фільтрів згортового шару, зазвичай це значення є степенем числа 2

- дільник кількості елементів у повністю зв'язаних шарах - параметр, що характеризує, на яке число має ділитися кількість елементів у повністю зв'язаних шарах, зазвичай це значення є степенем числа 2

- кількість кроків моделювання параметру кількості фільтрів згортового шару

- кількість кроків моделювання параметру кількості елементів у повністю зв'язаних шарах

- мінімальна кількість повністю зв'язаних шарів

- максимальна кількість повністю зв'язаних шарів

Аналогічні параметри конфігурації синтезатора моделей визначені і для інших архітектур нейронних мереж, що використовуються синтезатором, а саме для рекурентних нейронних мереж і звичайних нейронних мереж.

Ці параметри конфігурації синтезатора моделей передаються в процес моделювання і згідно них синтезатор створює набір конкретних екземплярів моделі наявних архітектур і послідовно випробовує їх на вибраному масиві вхідних даних і вибраних параметрах прогнозування. На даний момент розроблений застосунок може бути застосований для конструювання моделей, завданням яких вирішення задачі прогнозування числових рядів. Для вибраного масиву вхідних даних можна створити сукупність моделей, що вирішують задачу прогнозування, кожна з яких буде характеризуватися такими параметрами[5], а саме:

- Кількість точок історичних даних, на основі яких потрібно зробити прогноз(Hs)
- Кількість точок прогнозування, що мають бути передбачені за допомогою моделі(Ps)

Під час запуску процесу моделювання, вибраний масив вхідних даних перетворюється за допомогою алгоритмів ковзного вікна на масив окремих послідовностей однакового розміру, що дорівнює сумі розміру історичних даних (Hs) та кількості точок прогнозування(Ps). Надалі ці послідовності розділяються на пари (Hs, Ps) і набір пар розділяється на 3 набори даних, а саме:

- Тренувальний набір даних
- Перевіряючий набір даних
- Тестуючий набір даних

Надалі тренувальний набір даних подається на вхід згенерованого синтезатором моделей екземпляра моделі, що навчається на основі них. Метрики, що вибрані для обчислення під час процесу моделювання обчислюються шляхом використання моделі, що навчається на тренувальному наборі даних на перевіряючому і тестуючому наборі даних.

Розроблений застосунок надає можливість обчислювати вибрані метрики для масиву вхідних даних за результатами моделювання, а саме обчислювати показники для кожного елементу масиву вхідних шляхом використання натренованої моделі на послідовності, що

починається з обраного елемента масиву вхідних даних і має довжину у визначений розмір історичних даних.

V. Наступні можливості для реалізації в межах дослідницького застосунку

На основі значень показників метрик за результатами моделювання масив вхідних даних може бути кластеризований і ця операція дозволяє провести певний набір дій для підвищення ефективності роботи моделі, а саме:

1. Запустити процес моделювання для кожного окремого зформованого кластеру масиву вхідних даних
2. Після закінчення процесу моделювання зберегти отриману модель для подальшого використання
3. Під час тестування вирішення задачі прогнозування для вибраних вхідних даних спершу спробувати віднести дані до одного з наявних кластерів
4. Використання моделі для обраного кластеру для прогнозування на основі заданих даних

Також використання кластеризації надає можливості до побудови багаташарових моделей шляхом поєднання результатів виконання моделей в наступний шар, який також проходить через етап моделювання і формується додаткова модель, що може мати покращені показники метрик, що обчислюються за результатом прогнозування

III. ВИСНОВКИ

У даній публікації було проведено огляд дослідницького застосунку для конструювання моніторингових агентів у частині моделювання вирішення задачі прогнозування часових рядів, а саме показано етапи, які можливо виконувати використовуючи її, моделі яких архітектур має можливість формувати синтезатор моделей, які етапи підготовки масиву вхідних даних відбуваються перед початком моделювання. Також визначений алгоритм обчислення значень метрик за результатами моделювання, а також які подальші підходи і методи будуть розроблятися і досліджуватися з використанням даного застосунку

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] S. Guessoum *et al.*, "The Short-Term Prediction of Length of Day Using 1D Convolutional Neural Networks (1D CNN)," *Sensors*, vol. 22, no. 23, p. 9517, Dec. 2022, doi: 10.3390/s22239517.
- [2] B. Lindemann, T. Müller, H. Vietz, N. Jazdi, and M. Weyrich, 'A survey on long short-term memory networks for time series prediction', *Procedia CIRP*, vol. 99, pp. 650–655, 2021
- [3] X. Zhang, F. Shen, J. Zhao, and G. Yang, 'Time Series Forecasting Using GRU Neural Network with Multi-lag After Decomposition', 10 2017, pp. 523–532.
- [4] H. Hewamalage, C. Bergmeir, and K. Bandara, "Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting: Current status and future directions," *International Journal of Forecasting*, vol. 37, no. 1, pp. 388–427, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ijforecast.2020.06.008.
- [5] A. Azlan, Y. Yusof, and M. F. Mohamad Mohsin, "Determining the impact of window length on time series forecasting using deep learning," *International Journal of Advanced Computer Research*, vol. 9, pp. 260–267, Sep. 2019, doi: 10.19101/IJACR.PID77.

Trusted autonomous systems: organization of the "thinking swarm"

Yurii Prokopchuk

Department of System Analysis and Control Problems
Institute of Technical Mechanics of the NASU
Dnipro, Ukraine
ORCID: 0000-0002-8544-1838

Pavlo Nosov

Department of Navigation
Kherson state Maritime Academy
Kherson, Ukraine
ORCID: 0000-0002-5067-9766

Abstract— Creating autonomous ensembles of agents / robots / Smart Things / Unmanned X Vehicles (UxVs) that can actively explore the environment, acquire knowledge and learn skills continuously is the ultimate achievement envisioned in cognitive and developmental robotics, autonomous transport systems and systems for monitoring critical objects. Their learning processes should be based on interactions with their physical and social world in the manner of human learning and cognitive development. The main requirement is to ensure high survivability and functional reliability under conditions of limited resources and multiple equipment failures. One of the tasks of the "thinking swarm" is to provide situational awareness to operators under conditions of radical uncertainty. Based on this context, in this paper we propose constructive approaches to solving a number of technical and fundamental problems of organizing "thinking swarms".

Keywords— trusted Autonomy, thinking swarms, paradigm of limiting generalizations, situational awareness, self-aware systems, living smart-structure

I. INTRODUCTION

Swarm intelligence has become a hot research field of artificial intelligence [1 - 11]. Considering the importance of swarm intelligence for the future development of artificial intelligence, we discuss and analyze swarm intelligence from a broader and deeper perspective. In a broader sense, we are talking about not only bio-inspired swarm intelligence, but also human-machine hybrid swarm intelligence (autonomous symbiotic systems, cognitive technical systems; shepherd-assisted swarm). In a deeper sense, we discuss the research using the paradigm of limiting generalizations (LGP) [7, 8]. One of the goals of the study was to develop a framework for an automated situational awareness system for human operators using live AIS measurements (fuzzy-trace: gist or bottom-line meaning; control information). In this context, situational awareness means having an accurate understanding of what is happening around you and what is likely to happen [1, 2, 3, 6] (active meaning-making; insightful intuition). Areas of possible applications: autonomous transport systems [9, 10, 11], Space, defense, smart ship/port, smart home/city (Smart-Everything Paradigm: Autonomous Smart House/Ship as an Organism; Cities/Ports as living organisms; Machine Learning & AI based Smart Home/Ship System in Ambient Assisted Living).

Airbus leveraging IoT and IBM's Watson for connected aircraft. The bottom line is that the 'cognitive computing' of IBM's Watson will be leveraged by Airbus to create a platform known as 'Smarter Fleet'. In the future, it will be possible to create digital cockpit assistants that can interpret the information on the airborne radar, make comparisons

between the current flight plan and weather forecasts, as well as monitoring any changes. Airbus, the German Aerospace Center (DLR) and IBM teamed up to create an AI-powered interactive robot assistant for the ISS crew.

The maritime research vessel Mayflower Autonomous Ship is a first-of-its-kind autonomous ship - and IBM cognitive technology played a central role in bringing it to life. IBM and ProMare co-engineered the software for the crewless ship with three layers of technology: sensory inputs, real-time machine learning and analytics, and a decision engine. By extending the ship's groundbreaking intelligent automation, operational decision-making, edge computing and AI-powered remote monitoring technologies across industries, IBM is paving the way for next-generation innovation, efficiency, security and resource savings. The concept of the "thinking swarm" most comprehensively solves these problems.

An example of a "thinking swarm" in space (Space Situational Awareness): NASA Project Astro Bee Navigation in ISS: Integrating Robots with the Space Stations of the Future (<https://www.nasa.gov/astrobee>). Getting some assistance from robots that can take on some tasks will make work on the station more efficient. Astrobee builds on the legacy and lessons learned from the SPHERES robots – short for Synchronized Position Hold, Engage, Reorient, Experimental Satellite – which have been aboard the station for over a decade. Robots will play a significant part in the agency's mission to return to the Moon as well as other deep space missions. Robots such as Astrobee, have the capacity to become caretakers for future spacecraft, working to monitor and keep systems operating smoothly while crew are away. Another example is "virtual satellites/UxVs". In terms of trusted autonomy, the NASA Platform for Autonomous Systems should be noted (NPAS: <https://techport.nasa.gov>). NPAS software is being cultivated as a paradigm shift in the way NASA develops autonomous operation software that will enable cost effective, comprehensive, "thinking", and evolutionary autonomy for future space and ground systems. The Institute of Technical Mechanics of the NASU is developing a closely related platform of "cognitive technical systems" [7].

The main aspect of the study is "Foundations of Trusted Autonomy": technical challenges and fundamental questions about 'thinking swarms'. The relevance of the study confirms the works [1, 2, 3]. The essence of the LGP-approach to formalizing/modeling the "thinking swarm" is the concept of "Living smart/cog-structure". Living structure is a fundamental view of the world (the fundamental phenomenon of order, the processes of creating order; a type of global structure or life-giving order emerging from the whole). Key

characteristics of living structure: wholeness, plasticity, selectivity, autopoiesis, predictiveness, homeostasis, allostasis, self-improvement, self-adaptation, diversification, cognition, self-organization / criticality, reflexivity, recursivity, stochasticity, sociality, subjective / virtual reality (wholeness as bio-cholarchy: different degrees of livingness or structural beauty; bridging between fractal and living geometry; fractal-like aggregates). Combining different self-organization mechanisms ensures that ensembles satisfy the requirements of missions. "Thinking swarm" should provide "understanding of the situation (awareness)," "explanation" (for different consumers) under conditions of limited resources and multiple equipment failures (high survivability, fault tolerance and anti-fragility). The process of agglomeration of clusters in a swarm is described by the LGP entities (examples: sketch networks, system-patterns, radicals, basis of limiting knowledge models, links "knowledge models - functional systems", "Creative stirring / mixing layer") [7]. The concept of the "Creative stirring / mixing layer" shows that the swarm state and structure may be tuneable with environmental noise as a control parameter (phase transitions in a thinking swarm; prediction errors; critical phenomena, resonances; Hidden attractors in cognitive dynamical systems). By the inverse causality operation, living systems can reduce the uncertainty of events and manage the probability distribution of future events favorable to survival.

One of the first concepts of the "thinking swarm" was proposed by Marvin Minsky. The Society of Mind is both the title of a 1986 book and the name of a theory of natural intelligence as written and developed by Marvin Minsky. Minsky constructs a model of human intelligence step by step, built up from the interactions of simple parts called agents, which are themselves mindless. He describes the postulated interactions as constituting a "society of mind", hence the title. Jeff Hawkins and his team discovered ("A Thousand Brains" [5]) that the brain uses maplike structures to build a model of the world - not just one model, but hundreds of thousands of models of everything we know (There are many models... models for vision, models for touch. Cortical columns vote within regions and across the brain to reach a group consensus on object representations). The decision is made by consensus of the "small" models. This is fully consistent with the LGP-concept of the "thinking swarm".

Why can teams of people/agents find better solutions than brilliant individuals working alone? And why are the best group decisions and predictions those that draw upon the very qualities that make each of us unique? Group problem solving benefits from cognitive diversity within the group (Diversity's Logic: The Diversity-Ability Trade-Off) [4]. Differences in how members of the group see the problem, what kind of cognitive resources they have at their disposal, and what kind of heuristics they use, can all make it more probable that all the necessary ingredients for solving a complex problem are available to the group as a cognitive unit (this benefit may be so strong that cognitively diverse groups may outperform groups consisting of more able individuals/agents). A formal model of such a situation is considered in [4, 7] (The work changes the way we understand diversity - how to harness its untapped potential). This provision is reflected in the "test configurator" model (model of any signal under conditions of wholeness) [9].

II. OBJECTIVES OF THE RESEARCH PROGRAM

A. The main objectives of the research program

- Foundations of trusted autonomy. Swarm Intelligence. The meaning and origin of goal-directedness. Organizing a thinking swarm: communication and control topology. Swarm collective wisdom. Phase transitions in thinking swarm.
- Living smart/cog-structure. A recursive definition of 'Living space': A topological representation for living space as a coherent whole. Representing geographic space as a hierarchy of recursively defined subspaces.
- Automated situational awareness. Self-aware computing systems: contextually aware intelligent control agents for heterogeneous swarms. Visualization and collision risk assessment of real ships / UxVs in a mixed reality environment. Physical-virtual synchronization in the vehicular Metaverse.
- A generalized model for distributed, autonomic and self-organizing computing. A model of concurrent computation in distributed systems. Hierarchical solution of decision processes using macro-actions.
- Natural-constructive approach to modeling the cognitive process (LGP). Brain-inspired world models. Integrated sensing: the perception systems used in fully automated agents / vehicles.
- Shepherd-assisted swarm collective decision making. Shepherding UxVs for human-swarm teaming.
- Recruitment Puzzle: The "best" programs (mechanisms) are the programs with a minimal cost. The 'cheapest' mechanisms-programs are embodied automatisms, radicals and functional systems (morphological computing, bodily intelligence).
- Instant decision making: The dynamics of decision-making in the management process are intensifying. Decisions based on gist. Modeling cognitive diversity in group problem solving. Combining planning with self-organization.

B. Some basic principles of the LGP

The genesis of thinking swarm management rests on the following varieties of critical phenomena [7]: scale relativity - the explicit dependence of physical and causal laws on scale; self-organized criticality / quasicriticality / supercriticality; the self-form of swarm; the theory of thin slices; symmetries; critical integration in neural and cognitive systems: the hallmark of soft-assembly; understanding of criticality as a system's susceptibility to changes in its own integration; keeping the system in the zone of adaptation maximum with the help of all mechanisms of self-regulation, adaptation, allostasis and autopoiesis; functional resiliency / plasticity; stigmergic self-organization / optimization; self-organized instability / bistability; autopoiesis as a key phenomenon of the living system (the main indicator that must be held constant is the organization itself, the wholeness of the system); mental and social codepoiesis: human cognition is capable of extreme generalization; operational closure (a property of autopoiesis indicating that no operations can enter or leave the system); competition-induced criticality; design principles for reducing cognitive load; self-optimizing control structure; predictive processing (the brain is a prediction

machine); universal critical dynamics, nonequilibrium phase transitions; EigenBehavior; criticality and fractal self-similarity; from-local-to-global functional organization; combinatorial generalization; extreme principles in nature: the actual state of any system is realized at extreme values of its main characteristics; the goldilocks (optimal level) principle; principle of parsimony; asymptotic rationality; over-connectivity abilities; shortening the path between stimulus and response; laws of beauty; laws of simplicity: simplicity corresponds in a drop in Kolmogorov complexity; minimum description length principle.

Holarchies play a crucial role in the LGP [9], for instance, sketch networks of various types represent holarchies. LGP serves as a methodological foundation for constructing bio-holonic control systems (Bio-Inspired Holonic Approach). A mathematical model of wholeness is developed [7].

III. SOME CONCEPTUAL SOLUTIONS

Understanding the situation means building networks of situation sketches (decisions based on gist; self-adaptation in collective self-aware computing systems) [7]. The test model (parameter, signal) - test configurator (reference scenarios for self-aware computing) - demonstrates that the key property of bio-holonic systems in terms of functional reliability is the existence of total audit and full diversification of all information flows (the concept of "artificial connectome" [7]), which allows for the implementation of "soft" measurement and embodied forecasting (predictive processing) of any signal even in case of sensor failure (basis for ensuring fault tolerance, catastrophe resistance, and anti-fragility [9]). Prediction mechanisms or "artificial intuition" improve with experience and become more economical, embodied, and fast [7, 8].

A. Reference Scenarios for Self-aware Computing: test configurator

It is assumed that any situation and any state of a thinking swarm can be described using a multitude of elementary tests $\{\tau\}$ (analogous to variables). Let us introduce the following notations [7, 9]:

‘Test’ – the name of the test; ‘#TestX...’ – the list of references to more general tests;

$\{a/A\}$ – a set of external tests that affect the transformations within the Test (A is the domain); [Context] – the context within which the given test model is valid;

‘Dj’ – the name of the j-th domain (generalization of domains from bottom to top); ‘#Dx...’ – links to parent domains;

$\{ ; ; \}$ – the list of alternative domain elements;

$\{f/\mu\}_j$ – arbitrary computational patterns, and action (μ – mechanisms); $\{S, R\}_j$ – auto-associative knowledge models or inductor space (S – code heuristics, R – precursors);

$\{Ag\}_j$ – agents (swarm of agents, expert environment);

$\{LAoT\}_z$ – all local "arrows of time" associated with the Z-task of distinction-control; may reflect both personal experience of an agent and the experience of the agent system $\{Ag\}_z$ as a whole (the concept of Subjective Space-Time-Action [7]).

Diversity’s Logic. The general scheme of the test configurator (living smart-structure: sketch network or

cognitive model of any signal) can be represented as follows (simplified version) [7, 9]:

```
Test [#TestX...] [ {a/A} ] [Context] {
    Dn [#Dx...] { ; ; } [ {f/μ}_n ] [ {S, R }_n ] [ {Ag}_n ] [ {LAoT}_n ]
    ...
    D2 [#Dy...] { ; ; } [ {f/μ}_2 ] [ {S, R }_2 ] [ {Ag}_2 ] [ {LAoT}_2 ]
    D1 { ; ; } [ {f/μ}_1 ] [ {S, R }_1 ] [ {Ag}_1 ] [ {LAoT}_1 ].
```

For each value of any domain, at least six classes of inductors are defined: transitive computations along the hierarchy of domains (generalizing primary measurement data); computations based on ontological agreements; computations based on auto-associative knowledge models; computations based on a multitude of neural networks; computations based on multi-agent technologies (outsourcing); computations based on experience ("arrows of time" and "arrows of causality"). The calculated test value at any level of generalization must be agreed upon by signals from different inductors, and this imposes constraints on the set of possible states of the entire system, ensuring systemic integrity (The Problem of Distributed Consensus). If there is a conflict of values for any domain, the control system should inform the user, significantly increasing the functional stability of critical technologies. The model also allows for the application of quantum-like technologies (superposition of sketches, re/de-coherence) [7]. As an agent environment $\{Ag\}$ (thinking swarm), any available global intellectual resources may be used, for example, IBM Watson and/or GPT-4/5 by OpenAI.

Example of the Threat test configurator:

```
Threat ^T [Context] {
    3 {Threat ^4 5; Gray Area ^3; Non-Threat ^1 2} {f/μ}_3
    2 {Very Low ^1 [0,2]; Low ^2 [2,4]; Medium ^3 [4,6];
    High ^4 [6,8]; Very High ^5 [8, 10]} {f/μ}_2 {Ag}_2
    1 {[0, 10]} {f/μ}_1 {Ag}_1
```

$G(\text{Threat}) = \{1 \{f/\mu\}_1 \{Ag\}_1 \rightarrow 2 \{f/\mu\}_2 \{Ag\}_2 \rightarrow 3 \{f/\mu\}_3\}$.

Any domain is a task of distinction. An example of the test configurator is shown in Figure 1.

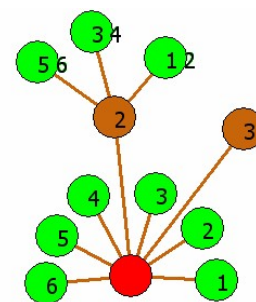


Рис. 1. Example test configurator.

When a signal is received, all distinction tasks are solved simultaneously (in parallel). Tasks can also be solved by external request (predictive processing). This is the essence of a total audit of information flows in the system (swarm). Sensor signals (agent messages/signals) can be generated even if the sensor fails (fault tolerance).

B. Automated Situational Awareness: continuum of distinction tasks

We provide a formalized description of one of the typical tasks of distinction based on experience [7]: it is necessary to relate an arbitrary sketch P (result of observation) to any situation from the precedent base $\Omega = \{\alpha\}$. The sketch can be a small fragment of an image.

Each situation-image α is represented by a network of sketches (emotionally and factually charged sketches within the "Subjective Space - Time - Actions" - SSTA). It is also associated with a continuum of previously solved distinction tasks $\{\underline{z}/Z\}_\alpha$ ($\forall \alpha \in \Omega$) or more precisely $\{\underline{z}/Z \{LAoT\}_Z\}_\alpha$, taking into account the experience of solving each Z -task of distinction, for example, the frequency profile of heuristic usage (the composition of distinction tasks depends on Ω , i.e., the subject area). For sketch P , a continuum of distinction tasks $\{\underline{z}/Z\}_P$ is also solved. The solution to the distinction task will be the following set of situation-images (Diversity's Logic: Causal explanations for stochastic multi-agent decision-making) [7, 9]:

$$\{\alpha\}_P = \{\alpha \mid \{\underline{z}/Z\}_\alpha \cap \{\underline{z}/Z\}_P \neq \emptyset \ \& \ \neg \exists Z\text{-task: } (\underline{z}/Z)_{\alpha \neq (\underline{z}/Z)_P}\}$$

The path and speed of establishing the set $\{\alpha\}_P$ depend on experience, i.e., on $\{\{\underline{z}/Z \{LAoT\}_Z\}_\alpha\}$. Over time, this path improves and becomes more economical and faster (Asymptotic rationality). The more distinction tasks $\{\underline{z}/Z\}_\alpha$ (for all α) and $\{\underline{z}/Z\}_P$, and the greater the experience, the more reliable and accurate the solution to the target task. In terms of resource economy and speed, it is essential that the "continuum of tasks" is performed subconsciously (automatically; the essence of "Automated Situational Awareness"). Only the result can be conscious. The mechanism of the "continuum of tasks" together with the test bank is the basis of "Self-Aware Computing Systems" in the LGP interpretation.

The report substantiates the thesis that one of the key tools for intuitive (fast, instant) problem-solving in distinction tasks is the "Creative stirring / mixing layer" within the "continuum of tasks" (dynamic competition mechanism of instant decision). It is argued that the concepts of "Creative stirring / mixing layer" and "Mixed layer depth" play an essential role in solving distinction tasks and modeling reactions to event-observations within the SSTA framework [7, 8, 9]. The report examines the practical mechanism of "Creative stirring / mixing layer" in solving any distinguishing task. The proposed scheme implements a dynamic competitive mechanism for instant decision-making, the purpose of which is to ensure the "survival" and achievement of the goals of the thinking swarm in an aggressive and uncertain environment. "Creative stirring layer" in each distinguishing task can be implemented with the help of the "Thinking swarm of cognitive agents".

IV. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

Our motivation is to create intelligent systems that can solve complex control problems better than humans can. The

coherent whole has a striking character – called living structure. A mathematical model of system-functional wholeness as applied to the "thinking swarm" was developed.

The reference scenarios cover a broad set of characteristics and issues that one may encounter in self-aware systems (thinking swarms). The LGP provides many reference scenarios of distinction, control, and action. The first scenario (A) focuses on an adaptive "soft measurement" algorithm and exemplifies how a self-aware system may adapt to changes in the data on which it operates, the environment in which it executes, or the requirements or performance criteria to which it manages itself. The second (B) focuses on self-aware multiagent applications running in an uncertain environment, allowing issues of collective behavior in cooperative and competitive self-aware systems to come to the fore.

Directions for further research focus on "intelligent mathematics" to describe the functioning of complex cognitive systems, including the "thinking swarm".

REFERENCES

- [1] S. Kounev, J. Kephart, A. Milenkoski, X. Zhu (eds.), Self-Aware Computing Systems. Springer Cham, 2017.
- [2] H. Abbass, J. Scholz, D. Reid (eds), Foundations of Trusted Autonomy. Springer Nature, 2018.
- [3] M. Xu, D. Niyato, H. Zhang, J. Kang, Z. Xiong, S. Mao, Z. Han, "Generative AI-empowered Effective Physical-Virtual Synchronization in the Vehicular Metaverse," 2023. 10.48550/arXiv.2301.07636.
- [4] S. E. Page, The difference: how the power of diversity creates better groups, firms, schools, and societies. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2008.
- [5] J. Hawkins, A Thousand Brains: A New Theory of Intelligence. Basic Books, 2021.
- [6] G. Audrito, R. Casadei and G. Torta, "Towards Integration of Multi-Agent Planning with Self-Organising Collective Processes," 2021 IEEE International Conference on Autonomic Computing and Self-Organizing Systems Companion (ACSOS-C), 2021, pp. 297-298, doi:10.1109/ACSOS-C52956.2021.00042.
- [7] Y. Prokopchuk, Intuition: The Experience of Formal Research. Dnipro, Ukraine: PSACEA Press, 2022. (in RU)
- [8] Y. Prokopchuk, P. Nosov, S. Zinchenko, I. Popovych, "New approach to modeling deep intuition," Materials of the 13th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport», Kherson, UA: XSMA, 2021, pp.37-40.
- [9] Y. Prokopchuk, P. Nosov, S. Zinchenko, A. Ben, "Bio-holonc approach to the creation of naturally reliable and safe transportation systems," Materials of the 15th Scientific and Practical Conference «Modern Information and Innovative Technologies in Transport (MINTT-2023)» (May 24-25, 2023, Kherson). Kherson, Ukraine: XSMA. 2023, pp. 37 – 41.
- [10] P. Nosov, S. Zinchenko, A. Ben, Y. Prokopchuk, P. Mamenko, I. Popovych, V. Moiseienko, D. Kruglyj, "Navigation safety control system development through navigator action prediction by data mining means," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 2 No. 9 (110): Information and controlling system, 2021, pp. 55-68, DOI: 10.15587/1729-4061.2021.229237.
- [11] P. Nosov, S. Zinchenko, V. Plokhikh, I. Popovych, Y. Prokopchuk, D. Makarchuk, P. Mamenko, V. Moiseienko, A. Ben, "Development and experimental study of analyzer to enhance maritime safety," Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4/3(112), 2021, pp. 27–35, <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239093>.

The generalized modified technique for finding fuzzy duplicates with data confidentiality

Inna Rozlomii

Department of Information
Technologies
Bohdan Khmelnytsky National
University of Cherkasy
Cherkasy, Ukraine
inna-roz@ukr.net

Vitalii Veretlynyk

Department of Information
Technologies
Bohdan Khmelnytsky National
University of Cherkasy
Cherkasy, Ukraine
veretlynyk.vitaliy@vu.edu.edu.ua

Serhii Naumenko

Department of Information
Technologies
Bohdan Khmelnytsky National
University of Cherkasy
Cherkasy, Ukraine
naumenko.serhii122@vu.edu.edu.ua

Abstract—This article is devoted to the development of a generalized modified fuzzy duplicate search technique with data privacy protection. The growing volume of electronic texts creates a need for effective detection of duplicates to ensure data quality and optimize information processing. However, along with this, there is a need to protect data privacy, especially personal and commercial information. The technique that combines efficient fuzzy duplicate detection with data privacy protection had been presented in article. The key principles and methods underlying the technique are described. It uses innovative algorithms to accurately identify duplicates, taking into account the ambiguity and variability of texts. The optimized fuzzy duplicate search system, based on the proposed technique, ensures high processing speed, regardless of the volume of data, and at the same time guarantees privacy protection through the use of advanced encryption methods and protection mechanisms.

Keywords—fuzzy duplicates, search method, Shingle method, H-gram method, encryption, data privacy

I. INTRODUCTION

In today's digital world, the processing and analysis of large volumes of electronic texts is an integral part of many fields of activity, from scientific research to business processes. However, the increase in the volume of available information leads to an increase in the number of duplicate texts, which complicates their processing and analysis. Detecting unclear duplicates in electronic texts is an important task to ensure data quality and information processing efficiency. Along with the need for effective search for unclear duplicates, there is also the need to ensure data confidentiality. Protection of personal and commercial information is becoming a priority for many organizations and users. Therefore, the development of an optimized system for searching for fuzzy duplicates with the provision of data confidentiality becomes an urgent problem.

The methods of detecting unclear duplicates can be applied in various fields, where large volumes of data require efficient processing and ensuring the quality and accuracy of the analysis. Fuzzy duplicate search methods are particularly useful in information retrieval systems, data analysis and business intelligence, medical informatics, database management, social networks, and other fields [1].

II. RELATED WORKS

Many publications are devoted to the research and development of methods for searching for vague duplicates in texts, which indicates a high activity in this area. Researchers are constantly working to improve algorithms and models, including using machine learning and natural language, to improve the accuracy and efficiency of fuzzy duplicate detection.

In particular, in work [2], the problem of detecting fuzzy duplicates is presented and an overview analysis of existing algorithms and their combinations is carried out. The authors highlighted the main quality indicators of the algorithms – completeness, accuracy and F-measure.

Work [3] shows an improved method of Shingles for finding fuzzy duplicates, which chooses a range instead of a fixed value of the substring length. The proposed method allows for higher accuracy of similarity value calculations. Another modification of Shingle's method [4] has a higher performance compared to existing methods because it generates fewer pairs of candidates for searching similar documents.

Despite the large number of works in this field, some aspects remain open for further research. For example, optimizing the speed of algorithms for detecting duplicates, increasing resistance to changes in the text, and taking into account contextual features are important directions for further development.

III. PROBLEM DEFINITION

The problem of detecting duplicates in electronic texts is becoming more and more relevant in today's world, where large volumes of electronic data are an integral part of many industries, such as scientific research, business analytics, information technology, and many others [7]. Ambiguous duplicates that differ in meaning, syntax, or structure can cause serious problems, such as increased footprint, incorrect decisions based on duplicates, and reduced data processing efficiency.

However, along with detecting obscure duplicates, there is also a need to protect data privacy. Preventing unauthorized access to personal and commercial information is becoming a priority for organizations and users. Considering this, the development of an optimized fuzzy duplicate search system

with data privacy protection is an extremely important and urgent task.

The relevance of this paper is that it proposes a solution to this problem by developing an optimized system for searching for fuzzy duplicates, which not only effectively detects such duplicates, but also guarantees a high level of data privacy protection. It combines advanced text processing techniques that ensure accurate detection of obscure duplicates with innovative algorithms and data structures. Optimizing the speed of the system allows you to efficiently process large volumes of data, regardless of their quantity and complexity.

An additional relevance of this article is the focus on data privacy protection. In a world where cyber security threats are increasing, ensuring the protection of personal and confidential information is becoming a critical task [5].

The article aims to present a generalized technique for finding fuzzy duplicates with data privacy protection. The task is to develop an effective algorithm that is able to quickly detect unclear duplicates in a large volume of electronic texts, while ensuring a high level of information privacy protection.

IV. TRADITIONAL METHODS OF SEARCHING FOR FUZZY DUPLICATES

The searching of duplicates in source texts, the shingle method and the N-gram method have acquired the greatest development. The use of such tools is effective for the analysis of scientific information, in particular, articles, reports at conferences, dissertations [6].

One of the important features of electronic documentation is the presence of repetitive text fragments, which greatly complicates the writing of the document, because in the absence of additional tools, the process of its development and maintenance can be quite laborious and take a lot of time. Also, if you do not track the presence of repetitions in the text, it becomes possible to reduce the quality of the document. Therefore, the simplification and partial automation of the process of finding and refactoring such repetitions becomes an important task. The shingle method and the N-gram method have gained the most popularity [7].

The shingle method is based on the presentation of texts in the form of a set of fixed-length sequences consisting of adjacent words. With a significant intersection of such sets, the documents will be similar to each other. One of the modifications of the method, named «supershingles» and «megashingles», is used to quickly identify such documents.

Another signature approach based on lexical principles is the "reference" word method. For documents, sets of reference words are compiled according to certain rules, according to which document signatures are built. The coincidence of signatures indicates the similarity of the documents themselves. This group of methods, despite the great complexity of implementation, shows the best results in identifying similar documents.

Most of the considered systems use the Shingle method in their work. Shingle's method demonstrates high accuracy of detecting duplicate texts. However, due to the peculiarities of the implementation, the results of the check in each system differ greatly from others. The disadvantage of the method is the inability to process synonyms. This is a significant drawback of existing systems. There are many means of

synonymizing texts. The use of such tools can nullify the work of text checking systems, for example, for plagiarism.

Thus, in order to effectively detect unclear duplicates, systems must be able to process stop words, apply lemmatization methods, replace letters from English to Ukrainian, and be able to process synonyms.

The shingle method has a high accuracy of finding the percentage of similarity of the studied text to a collection of texts, that is, how many percent of one of the documents contains a set of text from another. Methods of searching for similar sequences are used not only in the study of repetitions in electronic texts, but also in other fields of science.

V. MODIFIED TECHNIQUE FOR SEARCHING FUZZY DUPLICATES

For the analysis of borrowed fragments in the source texts, a generalized and modified approach is proposed, which combines the method of structural analysis of codes, the method of shingles, and the method of N-grams. The shingle method shows high accuracy in finding fuzzy duplicates because it compares the hash sum of the string. The N-gram method is used in many fields of science to study the sequence of data patterns. This method is easy to implement and shows the exact result of its work. The main criteria of our own method are ease of implementation and speed [8].

The first stage of this method is text canonization, by discarding all unnecessary elements that do not participate in the work of duplicate search methods, data for the method is formed.

In the second step, you need to compare one file with another, and to ensure that it works correctly, because during this creation of a word format, by chance there may be 2 or more words that can form the same format. Therefore, it was decided to compare the sequence of such words, from 2...N, where N is the number of words in the sequence. The similarity formula is as follows (1):

$$R(T_1, T_2) = \frac{LENGTH(T_1 \cap T_2)}{LENGTH(T_1) * 100} \quad (1)$$

where T_1, T_2 are the first and second text, respectively, $LENGTH$ is the number of sequences.

The result of the method is the percentage of borrowings from the first text in the second. It can be noted that the data generation for the method reduces the size of the output file up to 10 times, because it does not need almost all the characters that are in the texts.

On the basis of the proposed generalized modified technique for searching for fuzzy duplicates with data confidentiality, a system for searching for fuzzy duplicates in electronic texts was developed, which includes the following stages:

1. Transfer of input data to the system. These data are separate settings for fuzzy duplicate search methods. For example, the shingle method can get the number of words in one shingle, or the number of random hash sums of a shingle. Thus, it is possible to investigate the behavior of the system with different input data.

2. Initialization of the system, namely search methods. Next, each of the methods is executed simultaneously on one control variant of the electronic text, after the methods have

completed their work, they generate a report of the search result.

3. In the results collection block, the execution time and the percentage of borrowings from each file are formed for each method, and based on these data it is possible to show how optimally each method determines whether the electronic text is borrowed or not.

To ensure the confidentiality of data in the fuzzy duplicate search system, advanced encryption and anonymization techniques are used in the early stages of data processing, before they become available to further search algorithms. This approach guarantees that even with internal processing and comparison of data, confidentiality remains preserved [5].

The system offers a wide set of functions for searching for vague duplicates, including the ability to work with large volumes of textual information, taking into account semantic similarity and contextual features, as well as identifying similarities in heterogeneous data. At the same time, the system guarantees privacy protection by applying advanced encryption and anonymization methods, which allow preserving the privacy of data during their processing.

VI. CONCLUSION

For the analysis of borrowed fragments in the source texts, a generalized and modified approach is proposed, which combines the method of structural analysis of codes, the method of shingles, and the method of N-grams.

The proposed system has great application potential in various fields, where it is necessary to quickly and accurately detect unclear duplicates in electronic texts, ensuring a high level of data security and confidentiality. It can be useful for organizations that work with a large amount of text information, such as research laboratories, medical institutions, financial institutions and others, where accuracy, efficiency and data protection are critical factors.

The proposed solution can have a significant impact on many areas of activity, including scientific research, business analytics, database management systems, and many others. An optimized system for finding fuzzy duplicates with data confidentiality can significantly improve the quality and efficiency of information processing, reduce the risks of wrong decisions based on duplicates, and ensure high data security.

REFERENCES

- [1] Shakhovska, N., & Shvorob, I. (2015, September). The method for detecting plagiarism in a collection of documents. In 2015 Xth International Scientific and Technical Conference «Computer Sciences and Information Technologies» (CSIT) (pp. 142-145). IEEE.
- [2] Brimzhanova, S. S., Atanov, S. K., Khuralay, M., Kalmanova, D. M., & Tabys, T. (2019, June). Problems of detecting fuzzy duplicates. In Proceedings of the 5th International Conference on Engineering and MIS (pp. 1-5).
- [3] Azgomi, H., Ghasemi Mahsayeh, M., & Mohammadpour, M. (2013). A Method for Finding Similar Documents Based on Selection a Range for Substring Length in Shingling Method. ReefResources Assessment and Management Technical Paper, 38(5).
- [4] Sohrabi, M. K., & Azgomi, H. (2019). Finding similar documents using frequent pattern mining methods. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 27(01), 73-96.
- [5] Rozlomii, I.O. (2016) Increasing the effectiveness of the protection of electronic documents by modifying the hashing cipher. *Herald KHNU. Radio engineering, electronics and telecommunications*. 2016. 2(235). 69–73.
- [6] Wang, H., He, J., Zhang, X., & Liu, S. (2020). A short text classification method based on N-gram and CNN. *Chinese Journal of Electronics*, 29(2), 248-254.
- [7] Tripathy, A., Agrawal, A., & Rath, S. K. (2016). Classification of sentiment reviews using n-gram machine learning approach. *Expert Systems with Applications*, 57, 117-126.
- [8] Jankowska, M., Milios, E., & Keselj, V. (2014, August). Author verification using common n-gram profiles of text documents. In Proceedings of COLING 2014, the 25th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers (pp. 387-397).

Як візуалізація даних обманює

Марія Семаньків

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
dlyamarii@gmail.com

How data visualization deceives

Maria Semankiv

dept. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
dlyamarii@gmail.com

Анотація—Визначено переваги подання інформації через графіки, діаграми, карти. Проаналізовано причини оманливих результатів візуалізації даних. Наведено приклади оманливих візуалізацій.

Abstract—Significant advantages of presenting information through graphs, charts, maps. The reasons for the misleading results of data visualization are analyzed. Examples of misleading visualizations are given.

Ключові слова—Python, візуалізація даних.

Keywords—Python, data visualization.

I. ВСТУП

Візуалізація даних стала надзвичайно популярною в останні роки. За її допомогою легше розуміти, аналізувати та комунікувати великі обсяги інформації, які генеруються з різних джерел, таких як соціальні медіа, сенсори, транзакції тощо. Люди швидше сприймають інформацію за допомогою візуальних зображень, ніж тексту або чисел. Це дозволяє передати складну інформацію швидше та ефективніше, а також залучити та зацікавити аудиторію. Візуалізація даних стала невід'ємною частиною аналітики даних у бізнесі та науці. Вона допомагає виявляти тенденції, залежності, визначати проблемні зони та приймати обґрунтовані рішення на основі даних.

З'явилися потужні та дружні до користувача інструменти візуалізації даних. У Python існує кілька потужних бібліотек для візуалізації даних, які надають різноманітні засоби для створення графіків, діаграм, карт та інших типів візуалізацій. Ось кілька популярних бібліотек Python:

- Matplotlib: Це одна з найпоширеніших бібліотек для візуалізації даних в Python. Вона дозволяє створювати різні типи графіків, включаючи лінійні графіки, стовпчикові діаграми, кругові діаграми та багато інших. Matplotlib також має багато налаштувань для контролю вигляду та стилю графіків.

- Seaborn: Це бібліотека, яка розширює можливості Matplotlib і надає більш простий та зручний інтерфейс для створення стилізованих статистичних графіків. Seaborn пропонує широкі можливості для візуалізації взаємозв'язків між даними, роботи з категоріальними змінними, теплові карти та інші типи візуалізацій.

- Plotly: Це бібліотека для інтерактивної візуалізації даних. Вона дозволяє створювати інтерактивні графіки, діаграми, географічні карти та інші візуалізації, які можна взаємодіяти з користувачем. Plotly також має підтримку для створення візуалізацій у веб-середовищі за допомогою Plotly.js.

Це лише кілька прикладів бібліотек для візуалізації даних в Python. Кожна з них має свої особливості та можливості, і вибір залежить від конкретних потреб та вподобань користувача.

Візуалізації інформації - це потужний інструмент сьогодення для привернення уваги до актуальних проблем та інформування аудиторії, це зручний спосіб подання інформації та акцентування уваги на її змінах, прирості чи спаданні, відсотках, складових частин і т.д. Проте графіки та діаграми можуть обманювати, деколи через помилки під час аналізу або представлення даних, а деколи вони зумисне некоректно створені.

II. ПРИЧИНИ ОМАНЛИВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ

Візуалізація даних - це чудовий спосіб для користувача представити дані для порівняння, узагальнення, для оцінки перспективи їх змін та динаміки змін. Дані, що представлені у графіках, діаграмах, картах легше сприймаються та оцінюються для формування загальних висновків. Але в певних випадках візуалізація даних може обманувати користувачів у різних аспектах. Ось кілька способів, якими це може статися:

- **Вибірка даних:** Візуалізація даних може вплинути на сприйняття ширших обсягів даних шляхом представлення обмеженого набору даних. Якщо вона показує лише частину даних або обирає конкретні значення, це може створити спотворене уявлення про ситуацію.
- **Масштаб та пропорції:** Візуалізація може змінювати масштаб та пропорції даних, що може призводити до спотвореного сприйняття. Неправильне масштабування осей графіків або використання неточних пропорцій можуть приховати важливі деталі або виділити неправильні аспекти.
- **Використання кольорів та стилізація:** Візуалізація може використовувати кольори та стилізацію для виділення певних аспектів даних або створення психологічного впливу. Недостатнє використання контрасту, невідповідність кольорів із загальноприйнятими стандартами або навмисне використання кольорових схем можуть призвести до спотворення відображення даних.
- **Вибір типу графіка:** Вибір неправильного типу графіка може приховати або спотворити певні відношення або залежності між даними. Невірно побудовані графіки можуть зробити важко аналізувати дані та зрозуміти їх взаємозв'язки.
- **Неправильне подання даних:** Візуалізація може неправильно відображати дані або навмисно спотворювати факти. Це може включати неправильну шкалу, недостовірну анотацію, невідповідність одиниць вимірювання або навмисну маніпуляцію даними для створення певного враження.

Важливо мати на увазі, що візуалізація даних не завжди намагається обманути користувачів, але неправильне використання технік візуалізації може призвести до спотворення даних та створення неточного або спотвореного уявлення про реальність. Правильне її використання потребує уваги до деталей, дотримання стандартів та чесності у відображенні даних.

III. НАМІР ЧИ ВИПАДКОВІСТЬ?

Введення в оману – це не те ж саме, що брехня, оскільки графічні зображення можуть наводити читачі на певну думку, збивають з шляху без свідомого втручання його дизайнера. Відповідно до кодексів професійної етики в журналістиці та графічному дизайні знати правду і приховувати її, або передавати її у спосіб, який її

спотворює, просто неприпустимо. Кодекси поведінки базуються на апріорних правилах, обов'язках, зобов'язаннях. Вони є втіленням того, що в академічній літературі називається деонтологічною етикою. А створення оманливої графіки в результаті наївних помилок під час аналізу або представлення даних є етично нейтральним.

Розглянемо некоректність при відображенні даних. Наприклад, Президент Колумбії порівнює 8 років з 2 роками тільки для того, щоб показати прогрес за часів його правління у вигляді зменшення кількості вбивств. Дані в такому випадку невірно погруповані й не можуть показувати цілком достовірну інформацію для порівняння.

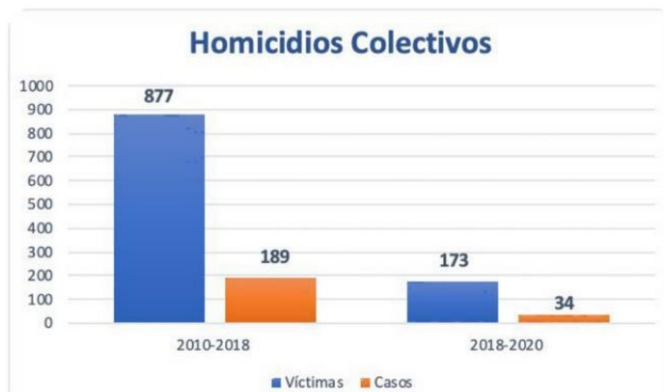


Рис. 1. Зменшення кількості вбивств

Часто в діаграмах використовуються відсоткове подання даних не дотримуючись основних математичних правил. На рис.2 сума всіх значень дорівнює 195,5%, що вже показує некоректність відображення даних таким чином (слід згадати, що в деяких країнах були випадки коли результати голосування за кандидатів на виборах в сумі давали більше 100%, що автоматично вказує на недостовірність даних).

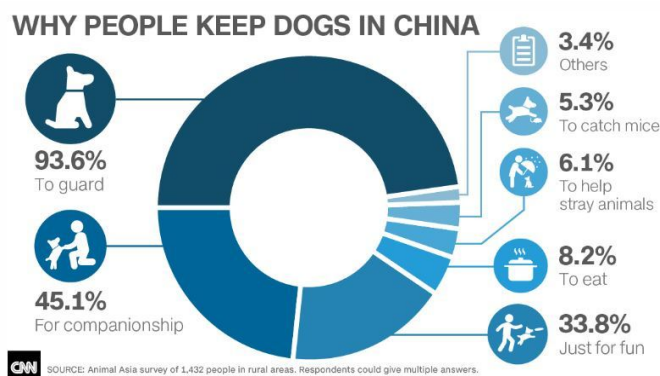


Рис. 2. 195,5% на одному зображенні

Також рекламні компанії можуть використовувати подання відсотків, щоб надати враження великого зростання або покращення. Проте, це може бути обманливим, якщо виходити зі порівняльної бази, яка не відповідає повному контексту.

Використання неправдивих графіків: рекламні агентства можуть використовувати графіки, які не відповідають вимогам коректної візуалізації даних. Це може включати неправильне масштабування осей, зміну пропорцій, використання неправильних одиниць вимірювання або невірну презентацію даних. Графік може мати вертикальну ось, яка починається не від нуля, а від певного значення, наприклад, 1000. Це може зробити приріст продажів набагато вражаючішим, ніж він є насправді. На рис. 3. зменшення викидів на 0,9% подано через неправильне масштабування як дуже значне зменшення в порівнянні з початковим значенням.



Рис. 3. Зменшення величини викидів на 0,9%

Реклама може виділити деякі точки на графіку, які показують стрімке зростання продажів, використовуючи більші символи або яскраві кольори. Це може надати враження, що зростання було дуже значним, хоча насправді це можуть бути просто випадкові аномалії.



Рис. 4. Виокремлення деяких частин без збереження пропорційності

При візуалізації можуть бути навмисно пропущені або приховані певні фактори чи відомості, що призведе до

спотворення ситуації. Відсутність контексту може призвести до неправильного розуміння даних і створення неправдивих висновків. Деколи здійснюється використання виграшів від одного фактора. Наприклад, візуалізація може зосередитися на одному показнику або факторі, який може бути спотворений, не враховуючи інших факторів, які можуть збалансувати або змінити враження. На рис. 5 показана країна США, яка немає оплачуваної відпустки по догляду за дитиною, незважаючи на те, вона є в центрі діаграми; Великобританія, Данія, Австралія, Венесуела та Кенія – це фактично одна країна, оскільки не відокремленні графічно; відображення даних у вигляді гістограми було б доречніше через непропорційність блоків по відношенню до кількості днів (3 місяці Ісландії та 54 місяці Фінляндії візуально не показують велику величину різниці).

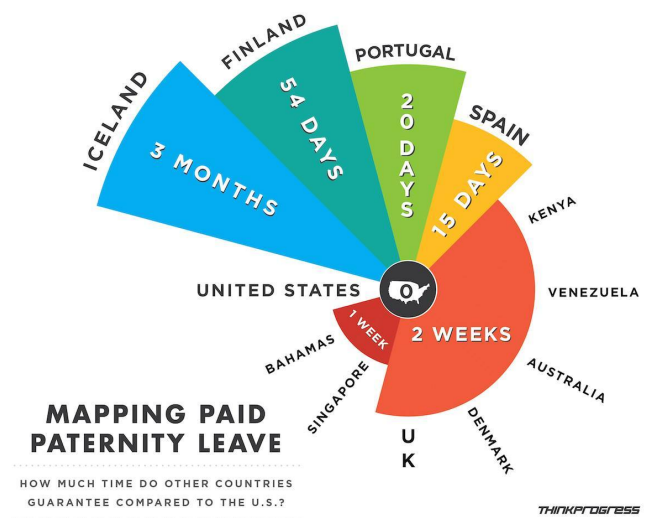


Рис. 5. Кількість днів оплачуваної відпустки по догляду за дитиною в різних країнах

ВИСНОВКИ

Оманлива візуалізація даних має на меті впливати на сприйняття користувачів і привернути їх увагу часто за рахунок використання маніпулятивних технік. Важливо бути критичним та аналітичним при сприйнятті рекламних візуалізацій і завжди перевіряти інформацію за допомогою надійних джерел та аналізу даних з різних джерел.

Згадані вище техніки можуть бути використані для створення ілюзії, наприклад, вражаючого зростання продажів, хоча фактично ситуація може бути більш складною або менш вражаючою, якщо врахувати всі відповідні фактори. Пам'ятайте, що критичне мислення та перевірка джерел даних є важливими при оцінці будь-якої візуалізації даних.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] <https://viz.wtf/>
 [2] David Bihanic New Challenges for Data Design 2015th Edition

Scilab як середовище для чисельних обчислень

Марія Семаньків
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
dlyamarii@gmail.com

Scilab as an environment for numerical calculations

Maria Semankiv
dept. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankovsk, Ukraine
dlyamarii@gmail.com

Анотація—Вказано переваги Scilab для здійснення чисельних обчислень, акцентовано увагу на широкий набір чисельних методів для виконання різних обчислень, відзначено перспективи розвитку та популяризації даного середовища.

Abstract—The advantages of Scilab for performing numerical calculations are shown, attention is focused on a wide set of numerical methods for performing various calculations, the prospects for the development and popularization of this environment are noted.

Ключові слова—Scilab, чисельні методи.

Keywords—Scilab, numerical methods

I. ВСТУП

Scilab є відкритою вільною системою чисельних обчислень, яка надає можливості для виконання математичних обчислень, аналізу даних, моделювання та візуалізації. Вона розвивається і підтримується Scilab Enterprises, а також активною спільнотою користувачів. Дане середовище надає широкий набір функцій та інструментів для розв'язання математичних задач, включаючи чисельні обчислення, обробку сигналів, оптимізацію, статистику, моделювання та інше. Вона має простий та зручний інтерфейс, що дозволяє користувачам виконувати різноманітні обчислення та аналізувати дані.

Одна з особливостей Scilab полягає в тому, що вона підтримує мову програмування, схожу на мову програмування MATLAB. Це означає, що ви її можете використовувати для реалізації складних алгоритмів, розробки власних функцій та сценаріїв обчислень.

Крім того, дана система надає засоби для візуалізації даних, які дозволяють створювати графіки, діаграми, контурні та поверхневі графіки та інші типи візуалізацій.

Узагальнюючи, Scilab - це система чисельних обчислень та програмування, яка надає засоби для виконання математичних обчислень, аналізу даних та візуалізації. Вона є альтернативою до інших популярних систем, таких як MATLAB, Octave та Python з науковими бібліотеками, і її можна використовувати для вирішення різних завдань у наукових, технічних та академічних областях.

II. ПЕРЕВАГИ SCILAB

Scilab має декілька переваг, які роблять його привабливим для чисельних обчислень та аналізу даних:

1) Безкоштовність та відкритий код: середовище є безкоштовним для використання та розповсюджується під відкритою ліцензією, що дозволяє користувачам вільно використовувати, модифікувати та поширювати його без обмежень.

2) Математична потужність: середовище надає широкий набір математичних функцій та операцій, що дозволяють виконувати складні чисельні обчислення. Він підтримує розв'язання лінійних та нелінійних систем рівнянь, чисельне диференціювання та інтегрування, оптимізацію, розв'язання диференціальних рівнянь та багато іншого.

3) Легкість використання: Scilab має простий та зрозумілий синтаксис, особливо для користувачів, знайомих з мовою програмування MATLAB. Це дозволяє швидко почати її використовувати для виконання чисельних обчислень без великого навантаження на вивчення нової мови програмування.

4) Велика спільнота користувачів: середовище має активну спільноту користувачів, що включає розробників, викладачів, дослідників та студентів. Це означає, що завжди є ресурси та підтримка для отримання допомоги, вирішення проблем та обміну знаннями.

5) Розширюваність: є можливість розширення функціональності за допомогою додаткових модулів та пакетів. Користувачі можуть використовувати модулі, що додають нові функції та бібліотеки для виконання специфічних завдань.

Ці переваги роблять Scilab потужним інструментом для чисельних обчислень, моделювання та аналізу даних, зокрема для академічних, наукових та промислових застосувань.

III. ВИКОРИСТАННЯ ЧИСЕЛЬНИХ МЕТОДІВ В SCILAB

Scilab надає широкий набір чисельних методів для виконання різних обчислень. Ось деякі приклади чисельних методів, які можна використовувати:

Методи розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР):

- Метод Гаусса-Жордана (gauss)
- Метод LU-розкладу (lu)
- Метод Холецького (chol)
- Метод Якобі (jacobi)
- Метод Гаусса-Зейделя (gauss_seidel)
- Метод ітераційного вирішення рівнянь (gslib)
- Методи чисельного диференціювання та інтегрування:
- Чисельне диференціювання (deriv)
- Інтерполяція поліномами (interp)
- Методи чисельного інтегрування (наприклад, метод трапецій, метод Сімпсона) (quad)

Методи розв'язання нелінійних рівнянь:

- Метод половинного ділення (bisect)
- Метод хорд (secant)
- Метод Ньютона (newton)
- Метод простої ітерації (fixed_point)

Методи чисельного розв'язання диференціальних рівнянь:

- Метод Ейлера (ode)
- Метод Рунге-Кутти (ode)
- Методи Розенброка (ode)

Методи чисельної оптимізації:

- Метод Нелдера-Міда (fminsearch)

- Метод оптимізації за допомогою квазіньютонівських апроксимацій (optim)

Це лише кілька прикладів чисельних методів, доступних у Scilab. Багато з цих методів надаються у вигляді вбудованих функцій або можуть бути завантажені додатковими модулями та пакетами. Документація та спільнота користувачів можуть бути корисними джерелами інформації для детальнішого ознайомлення з чисельними методами в даному середовищі.

ВИСНОВКИ

Scilab має перспективи розвитку, які включають наступні аспекти:

Функціональність: Розробники продовжують розширювати функціональність платформи, додавати нові функції та бібліотеки, щоб задовольнити потреби користувачів. Вдосконалення чисельних методів, оптимізація алгоритмів та покращення візуалізації даних - це лише деякі з напрямків розвитку.

Інтеграція з іншими мовами програмування: Scilab активно працює над інтеграцією з іншими мовами програмування та середовищами, щоб забезпечити зручність використання та взаємодію з іншими інструментами.

Підтримка інтерфейсів та форматів: середовище продовжує розширювати підтримку різних інтерфейсів та форматів, що спрощує обмін даними та інтеграцію з іншими програмними продуктами. Це включає підтримку стандартних форматів даних, таких як CSV, XML, JSON, а також інтеграцію з іншими популярними інструментами, наприклад, MATLAB.

Розширення спільноти: Scilab активно працює над залученням нових користувачів та розробників, зростанням спільноти та покращенням документації. Це дозволяє забезпечити більше ресурсів для підтримки та розвитку, а також стимулює обмін знаннями та розробку нових інструментів.

Підтримка основних платформ: середовище постійно оновлюється, щоб підтримувати нові версії операційних систем та платформ. Це забезпечує стабільність та сумісність з оновленими робочими оточеннями, що є важливим аспектом розвитку інструменту.

Ці перспективи розвитку підтримують зростання Scilab як потужного інструменту для чисельних обчислень та аналізу даних, та забезпечують його актуальність і цінність для користувачів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Фетісов В. С. Математична система Scilab: навч. посіб. Ніжин: Видавництво НДУ ім. М. Гоголя, 2011. 45 с
- [2] Усов А. В., Шпинковський О. А., Шпинковська М. І. Чисельні методи та їх реалізація у середовищі Scilab: Навч. посіб. для студентів вищих навч. закладів. Київ: Освіта України. 2013. 192 с
- [3] Чисельні методи в комп'ютерних науках: навч. посіб. Львів : Новий світ-2000, 2017. Т. 1. 470 с.

Розпізнавання об'єктів в штучному інтелекті

Тимофієва Н.К.

відділ комплексних досліджень інформаційних
технологій
МННЦІТІС НАН та МОН України
Київ, Україна
TymNad@gmail.com

Recognition of objects in artificial intelligence

Tymofijeva N. K.

integrated research department of information technology
ISTCITS of NAS and MES of Ukraine
Kiev, Ukraine
TymNad@gmail.com

Анотація – Розглядаються різні способи розпізнавання об'єктів в штучному інтелекті. Показано, що для одних задач необхідно при розпізнаванні встановити суть об'єкта, в інших важливо лише його виявити. Для одних задач необхідно створювати бібліотеку еталонів, в інших об'єкт і еталон знаходяться у вхідних даних.

Abstract — One of the main problems in the artificial intelligence is the recognition procedure, which consists in establishing the similarity between a given object and its etalon. It is believed that pattern recognition is a branch of the theory of artificial intelligence, where methods of classifying objects are studied. This problem is usually related to pattern recognition, speech signals, diagnosis in clinical diagnostics, etc. For this purpose, libraries of etalons are created, similarity measures are introduced, and a suitable etalons is found for given objects. In some problems, the input data contains both a etalon and an object to be recognized. There are problems in which the role of the etalons is performed by mathematical expressions that describe certain objects or set their properties. Recognition is carried out for the purpose of both establishing the essence of the subject and without establishing it. We will highlight the following problems: 1) the given object is compared with the library of etalons and its essence is established; 2) the given object is recognized for the purpose of its detection without establishing the essence; 3) the input contains both the etalon and the object to be recognized. In this case, the library of etalons is not created. For example, the input data in a problem of segmentation speech signal contains both a etalon and an object to be recognized. The peculiarity of this problem is that the signal is divided by a special procedure into segments, for the neighboring ones of which similarity is established. It is consists in finding almost -periodic and non-periodic sections on a given segment of the input signal, and in almost -periodic sections, the lengths of the current almost -period are determined. Recognition of a child's, a woman's, a man's voice is carried out by analyzing the signal for the value of the amplitude, the length of the period of the main tone. This is solvable, since the specified parameters can be described strictly enough and set according to the condition. In this problem, the essence of the subject is established. It does not require a library of etalons. In the future, the development of the theory of recognition should be oriented towards the development of

approaches in which the use of the library of etalons is minimized as much as possible. As the analysis of these problems shows, they are not related to the problem of classification.

Ключові слова — розпізнавання образів, розпізнавання мовлення, бібліотека еталонів, міра подібності, клінічна діагностика.

Keywords — pattern recognition, speech recognition, library of etalons, similarity measure, clinical diagnostics.

I. ВСТУП

Як відомо, теорія розпізнавання образів – розділ кібернетики, що розвиває теоретичні основи й методи класифікації та ідентифікації предметів, явищ, процесів, сигналів, які характеризуються кінцевим набором деяких властивостей та ознак. Вважають, що розпізнавання образів – це розділ теорії штучного інтелекту, де вивчають методи класифікації об'єктів. Як правило, об'єкт, що піддається класифікації, називають образом.

Проблема розпізнавання, як правило, пов'язана з розпізнаванням образів [1], мовленнєвих сигналів [2], клінічною діагностикою тощо [3].

Однією з проблем в задачах штучного інтелекту є процедура розпізнавання, тобто встановлення подібності між заданим об'єктом та його еталонем. З цією метою створюють бібліотеки еталонів, вводять міри подібності та знаходять певний еталон для заданих об'єктів. За еталон можуть слугувати елементи створеної бібліотеки, математичні вирази або певні властивості об'єктів, які розпізнаються. Вхідні дані в деяких задачах містять і еталон і об'єкт, який розпізнають. Наявні задачі, в яких необхідно розпізнати образ як без встановлення суті, так і встановлення його суті (задачі семантики).

II. ПІДХОДИ ДО РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ

Процес розпізнавання розділимо на такі задачі.

1) заданий об'єкт порівнюють з бібліотечним еталоном або як еталон використовують його властивості для встановлення суті цього об'єкта;

2) заданий об'єкт розпізнають з метою його виявлення без встановлення суті. Як еталон використовують бібліотечні елементи або опис його властивостей.

3) вхідні дані містять і еталон і об'єкт, який необхідно розпізнати. Бібліотека еталонів в цьому разі не створюється.

Для усіх випадків вводиться міра подібності, яка встановлює подібність між об'єктом і еталоном. Якщо не задано бібліотеку еталонів, то за еталон приймають властивості об'єкта, що розпізнається.

III. ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, ЯКІ ПОТРЕБУЮТЬ БІБЛІОТЕКИ ЕТАЛОНІВ

В задачі розпізнавання мовлення має місце порівняння бібліотечного еталону із вхідним сигналом для встановлення слова (речення) яке передає вхідний сигнал без аналізу на смислове значення слів (речення). Тобто в цій задачі не встановлюється суть. Задача клінічної діагностики полягає у знаходженні для множини ознак, які характеризують захворювання пацієнта, найбільш правдоподібного одного або кількох бібліотечних еталонів із множини захворювань, тобто за вхідними ознаками встановлюється одне або кілька захворювань. Оскільки в цій задачі встановлюється суть об'єкта, то її віднесемо до задач семантики. Автоматичний переклад текстів з однієї мови на іншу. проводиться двома способами: дослівний і художній. Перший підхід не є задачею семантики, тому що в результаті отримуємо дослівний переклад без аналізу його на суть і він піддається автоматизації. У другому підході для здійснення якісного перекладу необхідно проводити аналіз об'єкт на сутність. Але в цьому разі автоматизувати художній переклад текстів досить складно. Обидві задачі для свого розв'язання потребують бібліотеки еталонів.

IV. ЗАДАЧІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ, РОЗПІЗНАВАННЯ В ЯКИХ ПРОВОДИТЬСЯ БЕЗ БІБЛІОТЕКИ ЕТАЛОНІВ

Вхідні дані в задачі сегментації мовленнєвого сигналу містять як еталон так і об'єкт, який необхідно розпізнати.

Особливість цієї задачі полягає в тому, що сигнал розділяється на сегменти таким чином, щоб останні були подібними. Вона полягає у виділенні на заданому відрізку вхідного сигналу майже періодичних і неперіодичних ділянок, а в майже періодичних визначають довжини поточного майже періоду. Відповідно, при її розв'язанні сусідні сегменти порівнюють на подібність. Розпізнавання дитячого, жіночого, чоловічого голосу проводять шляхом аналізу сигналу на значення амплітуди, довжини періоду основного тону. Ця задача є розв'язною, оскільки оговорені параметри можна описати достатньо строго і задати їх за умовою. В ній встановлюється суть об'єкта. Прівняння текстів з метою встановлення плагиату існуючими програмними засобами виявляють однакові слова або фрази. Якщо текст збігається з оригіналом, то програми досить просто виявляють плагиат. Якщо суть (значення) тексту, що аналізується залишається таким же, що і в оригіналі, але передана іншими фразами (словами), то при виявленні плагиату необхідно проводити семантичний аналіз обох текстів. Ця задача відноситься до семантики, але існуючими підходами аналіз на суть об'єкта проводити досить складно. Для оговорених задач бібліотека елементів не створюється.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в процесі розпізнавання виділяють задачі, в яких об'єкт порівнюють з еталоном для встановлення його суті. В цьому разі попередньо утворюють бібліотеку еталонів. Наявні задачі, де заданий об'єкт розпізнається з метою його виявлення без встановлення суті. Для них може створюватися бібліотека еталонів або як еталон використовують характерні властивості цього об'єкта. Відповідно за цими параметрами може бути встановлено і його суть. Деякі задачі містять і об'єкт, що розпізнається, і еталон. Аналіз задач штучного інтелекту показує, що розпізнавання не відноситься до задач класифікації.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Шлезингер М.И., В. Главач. Десять лекций по статистическому и структурному распознаванию. Киев: Наук. думка, 2004. 546 с.
- [2] Винцок Т.К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов. Киев: Наук. думка, 1987. 262 с.
- [3] Тимофієва Н.К., Гриценко В.И. Аргумент цільової функції в задачі клінічної діагностики/ УСиМ.– 2012. № 3. С. 3 – 14.

Трьо-кубітна квантова схема для квантового згорткового шару

Віктор Синєглазов
кафедра штучного інтелекту
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Петро Чинник
кафедра штучного інтелекту
НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
chynnyk@vivaldi.net

Three-qubit quantum scheme for a quantum convolutional layer

Victor Sineglazov
dept. of Artificial Intelligence
NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Petro Chynnyk
dept. of Artificial Intelligence
NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
chynnyk@vivaldi.net

Анотація - У даній роботі розглянуто квантові згорткові нейронні мережі в задачі розпізнавання рукописних цифр. Запропоновано квантову схему для згорткового шару квантової згорткової нейронної мережі. Проаналізованні результати навчання квантових згорткових нейронної мережі.

Abstract - In this work, quantum convolutional neural networks are considered in the task of recognizing handwritten digits. A quantum scheme for the convolutional layer of a quantum convolutional neural network is proposed. The results of quantum convolutional neural network training were analyzed.

Ключові слова — машинне навчання, квантові обчислення, квантовне машинне навчання, квантова згорткова нейронна мережа

Keywords — machine learning, quantum computing, quantum machine learning, quantum convolutional neural network

I. ВСТУП

Штучний інтелект на сьогоднішній день – це світовий тренд можливості якого необмежені. Єдине обмеження в ресурсах для навчання штучного інтелекту, щоб задовольнити сучасні вимоги в пошуку та визначення дрібних ознак, які сприяють покращенню розв’язанню поставлених задач. Підвищення ефективності штучного інтелекту на сьогоднішній день пов’язано з використанням глибоких нейронних мереж, а це свою чергу, незважаючи на широке впровадження графічних процесорів Nvidia вимагає проведення великої кількості обчислень. Як

наслідок високих часових витрат. Тому йде пошук нових підходів обчислення. Один із нових підходів — це квантові обчислення.

Квантові обчислення (англ. quantum computing) – це галузь обчислювальної науки, яка використовує принципи та ефектів квантової фізики для виконання обчислень. Для того, щоб квантовий комп’ютер зміг виконати обчислення, потрібно розробити квантову схему.

Квантова схема (англ. quantum circuit) – це модель для квантових обчислень, у якому обчислення є послідовністю квантових вентилів.

Квантовий вентиль (англ. quantum gate) – це квантовий логічний елемент. Його описують за допомогою унітарних матриць.

Унітарна матриця (англ. unitary matrix) – це квадратна матриця U , у якій елементи цієї матриці є комплексними числами і має таку властивість

$$U^*U = UU^* = I, \quad (1)$$

де U – квадратна матриця, U^* - транспонована матриця з комплексно-спряженими числами, I - одиничні матриця.

У даній роботі було розглянуто варіаційну квантову схему [1] топології тензорна мережа [2,3] – квантова згорткова нейронна мережа [4-7]. Запропоновано свою

квантову схему для згорткового шару квантової нейронної мережі. Навчання класифікатора відбувалося на датасеті MNIST.

II. КВАНТОВА ЗГОРТКОВА НЕЙРОННА МЕРЕЖА

Квантова згорткова нейронна мережі складається з кодування даних (англ. data encoding), згортки (англ. convolution) і пулінгу (англ. pooling) [4]. На рис. 1 продемонстрований схематичний приклад квантової згорткової нейронної мережі [4].

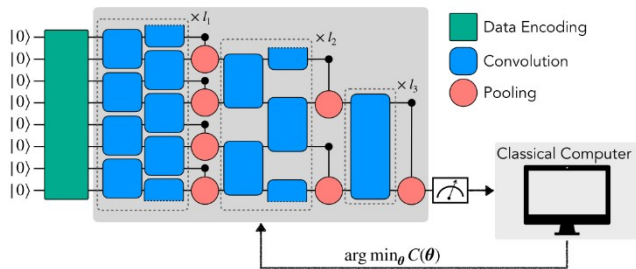


Рис. 1. Схематичне зображення квантової нейронної мережі [4].

Згортка і пулінг складається з параметричних квантових вентилів, що дає нам змогу навчати нашу мережу.

Кодування даних (англ. data encoding) нам необхідне для представлення класичних даних в квантовому просторі. На сьогоднішній день є безліч алгоритмів представлення класичних даних у кубітне представлення. Найпопулярніші з них це: амплітудне кодування (англ. amplitude embedding), кубітне кодування (англ. qubit encoding) і кутове кодування (англ. angle embedding).

У роботі [4] було були наведенні приклади згорткових схем (рис. 2)

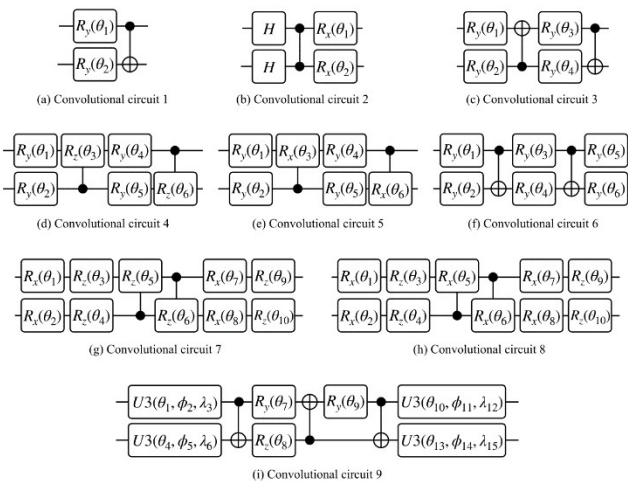


Рис. 2. Приклади згорткових схем [4].

Базуючись на цих схемах ми пропонуємо брати у взаємодію три кубіта, тим самим збільшуючи кількість інформації на згорткову схему, тим сами збільшуючи якість класифікації (рис. 3).

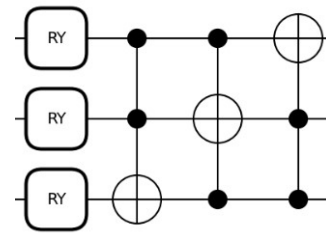


Рис. 3. Схема згорткової квантової схеми на 3 кубіта.

Шар пулінгу використовувався з роботи [4]

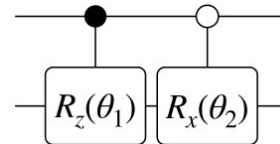


Рис. 4. Параметризована квантова схема, яка використовується в шарі пулінгу [4].

Навчання таких квантових схем може відбуватися, як за допомогою градієнтних методів, так і методів, які вільні від градієнту.

Під час навчання оптимізується функція втрат середня квадратична помилка (англ. MSE-mean squared error)

$$C(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_z(\psi_i(\theta)) - y_i)^2 \quad (2)$$

де $E_z(\psi_i) = \langle \psi_i | \sigma_z | \psi_i \rangle$ - математичне сподівання Паулі-Z для і-ого набору даних, $y_i \in \{-1, 1\}$.

Або оптимізується крос-ентропія

$$C(\theta) = \sum_i^N [y_i \log(\text{Pr}[\psi_i(\theta) = 1]) + (1 - y_i) \log(\text{Pr}[\psi_i(\theta) = 0])] \quad (3)$$

де $y_i \in \{0, 1\}$, $\text{Pr}[\psi_i(\theta) = y_i]$ ймовірність виміру обчислювального базису.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Для адекватного аналізу нашої квантової схеми для згорткового шару, було побудовано дві квантові згорткові нейронні мережі з однаковою кількістю параметрів – 20, щоб нівелювати вплив кількості параметрів на якість моделі для порівняльного аналізу. У першій використовувалися дво-кубітні квантові схеми в згорткових шарах (рис. 5). Назавемо її QCN1. В іншій наша трьо-кубітна квантова схема для згорткового шару (рис. 6). Назавемо її QCN2.

Навчання відбувалося на датасеті MNIST. Розмір тренувальної вибірки 1000, розмір тестової вибірки 500. Навчання відбувалося алгоритмом штучної колонії бджіл [8] на 10 ітераціях з кількістю бджіл 30, оптимізуючи крос-ентропію.

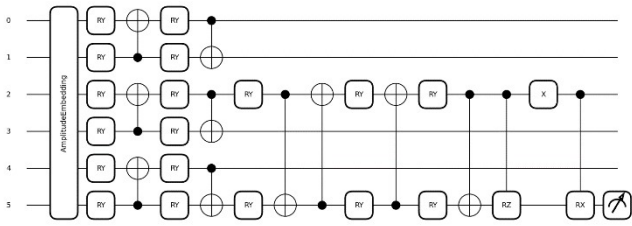


Рис. 5. Квантова нейронна мережа, яка побудована з дво-кубітних схем для згорткового шару і квантової схеми для шару пулінгу.

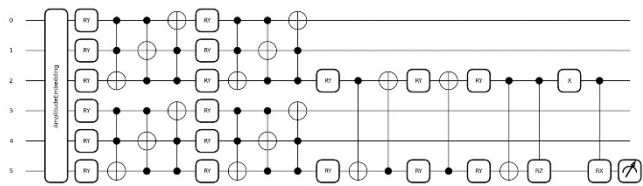


Рис. 6. Квантова нейронна мережі, яка побудована з трьо-кубітних і з дво-кубітних схем для згорткового шару і квантової схеми для шару пулінгу.

Результати наведенні в таблиці I.

TABLE II. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Model	Dataset	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
QCN1	Train	0.84	0.80	0.89	0.84
	Test	0.84	0.82	0.86	0.84
QCN2	Train	0.91	0.91	0.91	0.91
	Test	0.89	0.89	0.89	0.89

Як можемо бачити відбулося покращення квантової згорткової нейронної мережі, додаванням в квантову схему для згорткового шару ще одного кубіта.

IV. ВИСНОВОК

Розроблена трьо-кубітна квантова схема для згорткового шару квантової згорткової нейронної мережі продемонструвала себе на практиці чудово. Як можемо бачити з табл. I, то точність складає 0.9, порівнянно з іншою квантовою згортковою нейронною мережею, яка має дво-кубітні квантові схеми для згорткового шару, 0.8. Це демонструє, що додавання кубіта в квантову схему для згорткового шару збільшує кількість інформації, тим самим покращуючи саму квантову згорткову нейронну мережу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] M. Cerezo, Andrew Arrasmith, Ryan Babbush, Simon C. Benjamin, Suguru Endo, Keisuke Fujii, Jarrod R. McClean, Kosuke Mitarai, Xiao Yuan, Lukasz Cincio, and Patrick J. Coles (2019). Variational Quantum Algorithms [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2012.09265.pdf>
- [2] Diego Guala, Shaoming Zhang, Esther Cruz, Carlos A. Riofrio, Johannes Klepsch, Juan Miguel Arrazola (2023). Practical overview of image classification with tensor-network quantum circuits [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-30258-y>
- [3] L. Wright, F. Barratt, J. Dborin, V. Wimalaweera, B. Coyle, and A. G. Green (2022). Deterministic Tensor Network Classifiers [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2205.09768.pdf>
- [4] Tak Hur, Leeseok Kim, and Daniel K. Park (2021). Quantum convolutional neural network for classical data classification [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/2108.00661.pdf>
- [5] Iris Cong, Soonwon Choi, and Mikhail D. Lukin (2019). Quantum Convolutional Neural Networks [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1810.03787.pdf>
- [6] Iordanis Kerentidis, Jonas Landman, and Anupam Prakash (2019). Quantum Algorithms for Deep Convolutional Neural Networks [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1911.01117.pdf>
- [7] Junhua Liu, Kwan Hui Lim, Kristin L. Wood, Wei Huang, Chu Guo, and He-Liang Huang (2019). Hybrid Quantum-Classical Convolutional Neural Networks [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1911.02998.pdf>
- [8] Dervis Karaboga, Bahriye Basturk (2007). Artificial Bee Colony (ABC) Optimization Algorithm for Solving Constrained Optimization Problems [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/221498082_Artificial_Bee_Colony_ABC_Optimization_Algorithm_for_Solving_Constrained_Optimization_Problems **Помилка! Неприпустимий об'єкт гіперпосилання.**

Створення ефективної україномовної розкладки клавіатури з використанням генетичного алгоритму

Бурков Антон

кафедра штучного інтелекту
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»
Київ, Україна
kep.buran@gmail.com

Чумаченко Олена

кафедра штучного інтелекту
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»
Київ, Україна
eliranvik@gmail.com

Development of an efficient Ukrainian keyboard layout using a genetic algorithm

Burkov Anton

Department of Artificial Intelligence
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
kep.buran@gmail.com

Chumachenko Elena

Department of Artificial Intelligence
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute»
Kyiv, Ukraine
eliranvik@gmail.com

Анотація—Метою цієї роботи є створення більш ефективної україномовної розкладки клавіатури, оскільки сучасна найпопулярніша розкладка "ЙЦУКЕН" є більш адаптована під російську мову, ніж українську, тому не є ефективною. В роботі була розроблена математична модель генетичного алгоритму для досягнення цієї мети. Основною оцінкою ефективності розкладки є загальна дистанція, яку проходять пальці під час друку. Крім того, у роботі описані найпоширеніші методи друку та змінні, які визначають розмірність клавіатури. Це дозволяє адаптувати алгоритм для створення клавіатури, що задовольняє потреби кожного окремого користувача. Для оцінки ефективності нової україномовної розкладки клавіатури, розробленої з використанням генетичного алгоритму, проводяться експерименти та порівняння з існуючими розкладками. Результати експериментів демонструють переваги розробленої розкладки клавіатури для української мови.

Abstract—The aim of this work is to create a more efficient Ukrainian keyboard layout, as the current most popular layout "ЙЦУКЕН" is more adapted to the Russian language than Ukrainian and is therefore not efficient. A mathematical model of a genetic algorithm was developed in this study to achieve this goal. The primary measure of layout efficiency is the total distance traveled by the fingers during typing. Additionally, the study describes the most common typing methods and variables that determine the keyboard's dimensions. This allows for the adaptation of the algorithm to create a keyboard that meets the needs of each individual user. To assess the efficiency of the newly

developed Ukrainian keyboard layout, created using a genetic algorithm, experiments and comparisons with existing layouts are conducted. The results of the experiments demonstrate the advantages of the developed keyboard layout for the Ukrainian language.

Ключові слова—генетичний алгоритм, розкладка клавіатури, україномовна розкладка клавіатури, оптимізація

Keywords—genetic algorithm, keyboard layout, Ukrainian keyboard layout, optimization

I. INTRODUCTION

The keyboard is essential for computer users, including millions of Ukrainian speakers worldwide who rely on it for work, education, and communication. However, the current Ukrainian keyboard layout, derived from the popular Russian layout, lacks efficiency and usability for inputting Ukrainian text. Therefore, the objective of this research is to develop a more efficient Ukrainian keyboard layout tailored to the needs of the language.

To achieve this, a genetic algorithm is employed to explore various layout options and identify the one that minimizes finger movement while typing in Ukrainian. This approach enhances comfort and typing speed, addressing the growing demand for productivity and comfort in working with the Ukrainian language on keyboards.

II. EXISTING UKRAINIAN KEYBOARD LAYOUTS

The popular Cyrillic keyboard layout known as "ЙЦУКЕН" (JCUKEN) has a complex history, originating from the Soviet Union's typewriter keyboards and even earlier. It was documented in 1975 under GOST 6431-75 [1], and its usage spread to various Cyrillic-based languages, including Ukrainian. However, the original "ЙЦУКЕН" layout included all Russian alphabet letters.

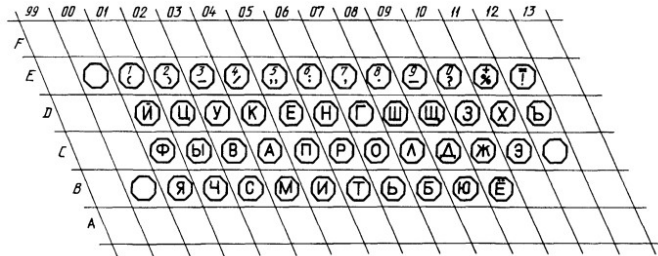


Fig. 1. "ЙЦУКЕН" layout Soviet Union's GOST 6431-75 [1]

To cater specifically to the Ukrainian language, a modified version of the "ЙЦУКЕН" layout was approved in the DSTU 3470-96 standard in 1996 [3]. This Ukrainian adaptation is widely used today.

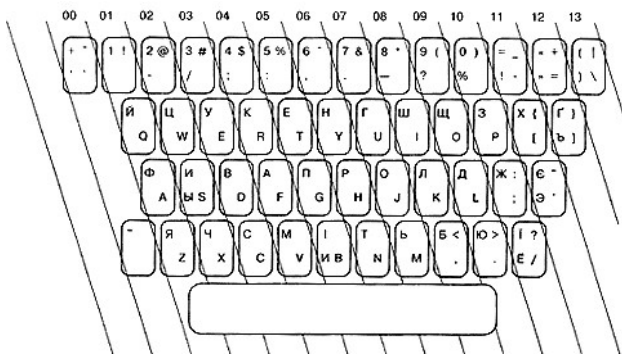


Fig. 2. Modern Ukrainian "ЙЦУКЕН" keyboard layout [3]

Alternative Ukrainian keyboard layouts exist, such as "ol03a" and "ol03g" [4], but they have primarily modified versions of "ЙЦУКЕН" that incorporate additional functional keys. Another layout called "Шарпівка" (Sharapivka) arranges commonly used Ukrainian letters on the middle row for optimized touch typing [5]. However, it doesn't consider frequent letter combinations in words.



Fig. 3. "Шарпівка" (Sharapivka) keyboard layout [5]

Creating a more efficient Ukrainian keyboard layout that accommodates different typing methods remains an important task.

III. TYPING METHODS

The efficiency and speed of typing on a keyboard are influenced not only by the key layout but also by the finger placement on the keyboard and finger movement during typing.

The most popular typing method is touch typing method. This method gained popularity after Frank Edward McGurrian's victory on July 25, 1888, in a typing speed competition where he used touch typing [6]. The idea of this method is to use all ten fingers while typing. Fig. 4 shows the finger placement scheme on the alphanumeric keys of the keyboard when using touch typing. The initial finger positions highlighted in the figure are used to start typing. When typing with any finger, it immediately returns to its initial position if it does not correspond to the next letter in the word.

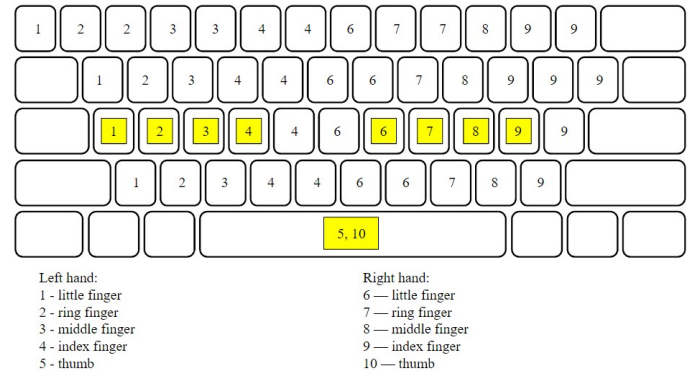


Fig. 4. Touch typing method scheme

However, touch typing is not optimal for touch-sensitive devices since the total width of the fingers is often larger than the width of smartphone screens. Therefore, people usually type on their touch-sensitive keyboard using two thumbs.

To formalize this method of typing using two thumbs, the touch-sensitive keyboard is divided vertically into two parts, with each part corresponding to one thumb. Fig. 5 illustrates the finger placement scheme when typing on a touch-sensitive keyboard using two thumbs.

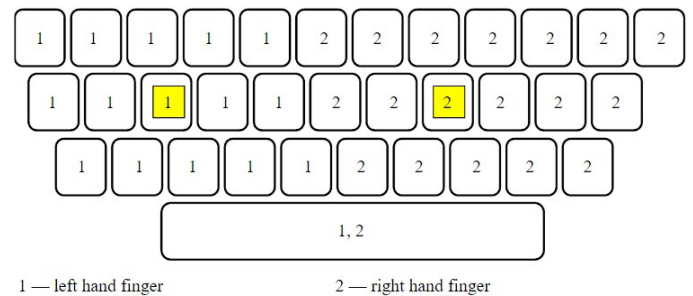


Fig. 5. Two fingers typing method

Additionally, usually only one finger is used for data input on touch-sensitive devices. In this case, all keyboard keys are associated with that finger, and the starting position is the key located in the middle of the middle row of the keyboard.

In conclusion, there are three typing methods: one for physical keyboards - touch typing, and two methods for touch-

sensitive keyboards - typing with two thumbs and typing with a single finger.

IV. KEYBOARD EFFICIENCY METRICS

To evaluate the efficiency of a keyboard layout, we will measure the total finger travel distance during typing. This will be done by analyzing a text dataset consisting of Ukrainian journalistic articles on various topics such as politics, sports, and culture. Each character in the text will be sequentially processed, and the distance between the current finger position and the corresponding key in the layout will be calculated and added to the cumulative sum of distances. The selection of fingers for typing will be based on a specific typing method that defines the key coordinates accessible to each finger.

The typing method will determine the initial finger positions, and if a finger is not used in an iteration, it will automatically return to its initial position without adding any additional distance. This modeling approach reflects real typing behavior, as returning to the initial position is considered a secondary action that does not affect the continuous input of text. The finger used in each iteration will maintain its position on the corresponding key. The distance from a finger to a key is calculated using the specified key width and length, the vertical and horizontal distances between keys, and the row offsets of the keyboard layout from the far-left point. Fig. 6 illustrates a scheme depicting all these keyboard metrics.

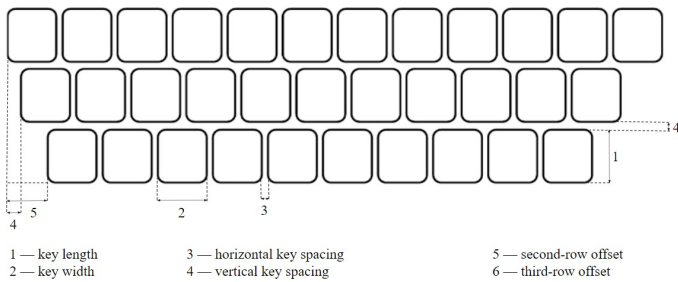


Fig. 6. Keyboard metrics scheme

Using key dimensions and spacing, we calculate the distance between the current finger position and the target key, assuming the finger presses the center. Row offset and key position within the layout are considered. Distance between keys is calculated using the Pythagorean theorem can be expressed as:

$$f(a_{i,j}, a_{m,n}) = |x_i - x_m| + |i - m| \cdot |d_h - w|)^2 + ((j - n) \cdot (d_v - l), \quad (1)$$

where $a_{i,j}$ - the key in row i and column j ,

$b_{i,j}$ - the key in row m and column n ,

x_i, x_m - the row offsets of rows i and m ,

d_h, d_v - the horizontal and vertical distances between keys,

w, l - the width and length of the keys.

Total distances for typing each character are summed to obtain the layout's overall distance. The layout efficiency value is then calculated by dividing the number of characters in the dataset by the total distance and by the average distance

between keys. This normalization ensures an objective evaluation of the layout while minimizing the keyboard size factor.

V. GENETIC ALGORITHM AND RESULTS

The genetic algorithm consists of four main stages: initialization, selection, crossover, and mutation. Previous research on English keyboard layouts has used genetic algorithms successfully [7]. Therefore, we adopt the crossover and mutation operators from that research. To initialize the algorithm, a population of randomly generated Ukrainian keyboard layouts is created. The initial positions of the selected typing method will prioritize the most frequently used letters in the Ukrainian language, such as "о", "а", "н", "и", "ї", "в", "т", "е", "р", "с", "л" [8]. The selection process involves choosing the top quarter of individuals based on their efficiency evaluation from the previous section.

The algorithm generated keyboard layouts for each typing method, which are depicted in fig. 7. In this case only the positions of letters was changed to not change the position of symbols, which are the same for every language, like ".". Also letter "r" is placed in the same place as "r" like at the "ЙЦУКЕН" layout because of its rare usage of it. Every method is getting optimized in different amount of population, the more fingers are used, the fewer generations is needed to optimize the layout for this method. As it is shown in the histograms in fig. 9, the generated layout is at least 25% more efficient than others.

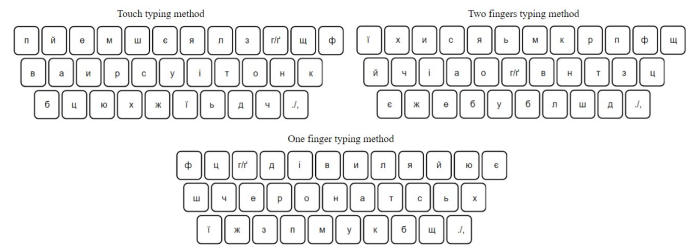


Fig. 7. Algorithm generated keyboard layouts

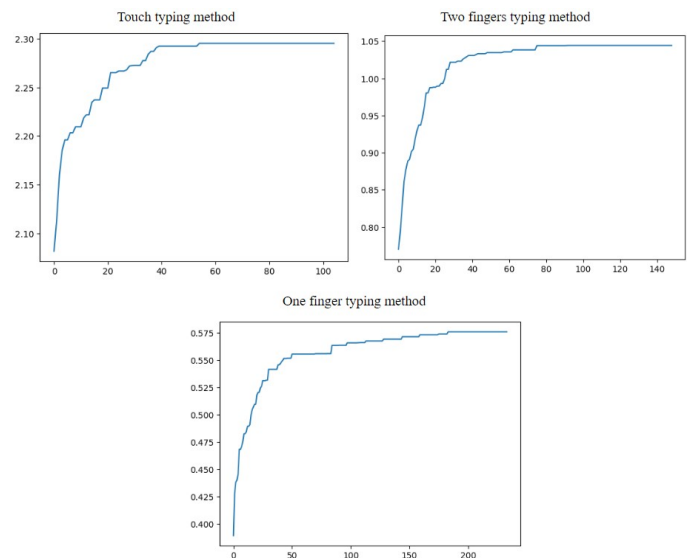


Fig. 8. Algorithm generation best

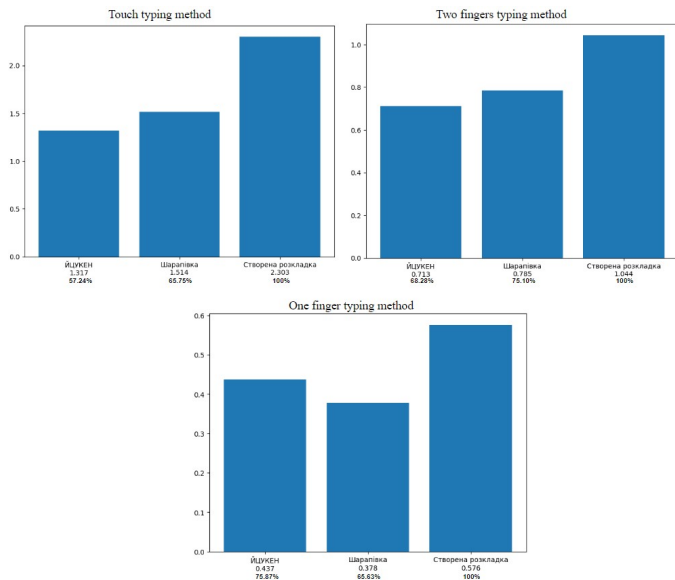


Fig. 9. Keyboard layout comparison histogram

Touch typing was optimized the best, outperforming the next best layout by 34.25%. Other methods that utilize fewer fingers are more challenging to optimize and tend to be less effective, so the general efficiency of layout for touch typing is bigger for all layouts.

VI. CONCLUSION

As a result of this work, a genetic algorithm for creating an efficient Ukrainian keyboard layout has been successfully

implemented. Factors such as typing method and keyboard sizes were taken into account, allowing users to create a keyboard layout according to their own needs. Additionally, users have the option to replace the text dataset, for example, inputting their own texts that they type daily. As a result, users obtain the desired keyboard layout. As demonstrated, the algorithm generates a keyboard layout that is at least 25% more efficient than other keyboard layouts.

REFERENCES

- [1] "Typewriters. Arrangement of Keys and Characters on the Keyboard." GOST USSR 6431-75, 1975.
- [2] "Windows Keyboard Layouts." IEEE. 20 March 2023. Microsoft. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/globalization/windows-keyboard-layouts>
- [3] "DSTU 3470-96." 1996. State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy of Ukraine.
- [4] Liutyi, Oleksandr. "ol03a and ol03g." February 27, 2017. Wayback Machine. Available: <http://web.archive.org/web/20170227000000/http://liutyi.info/ol03a>
- [5] Sharapov, O. "Sharapovka Keyboard Layout." April 10, 2016. Wayback Machine. Available: <https://web.archive.org/web/20160401093256/http://layout.asharapov.com/about>
- [6] Yamada, H. (1980). A Historical Study of Typewriters and Typing Methods: from the Position of Planning Japanese Parallels. *Journal of Information Processing*, 2(4), 175-202.
- [7] Nivasch, K., & Azaria, A. (Year unknown). A Deep Genetic Method for Keyboard Layout Optimization. Computer Science Department, Ariel University, Ariel, Israel. Available: <http://azariaa.com/Content/Publications/Keyboard.pdf>
- [8] Arkhipov, O.O., & Zhuravlyov, V.M. (2009). Frequency analysis of the usage of letters in the Ukrainian language. "Radioelectronics. Informatics. Control", ISSN 1607-3274

Використання Штучного Інтелекту в освітньому процесі

Володимир Якимів
кафедра прикладної математики і фізики
Українська Академія Друкарства
Львів, Україна
vldmr.yakymiv@gmail.com

Usage of Artificial Intelligence in educational process

Volodymyr Yakymiv
dept. of Applied Mathematics and Physics
Ukrainian Academy of Printing
Lviv, Ukraine
vldmr.yakymiv@gmail.com

Анотація—Розглянуто питання використання матеріалів згенерованих сервісами штучного інтелекту в освіті. Описано законодавчі аспекти авторського права на матеріали створені штучним інтелектом. Подано роль людини та авторські права людини при користуванні сервісами ШІ. Проаналізовано використання згенерованих даних у наукових дослідженнях та можливість їх використання в наукових працях.

Abstract—The article considers the use of materials generated by artificial intelligence services in education. The legal aspects of copyright for materials created by artificial intelligence are described. The role of a person and human copyright in the use of AI services are presented. The use of generated data in scientific research and the possibility of their use in scientific works are analyzed.

Ключові слова—навчання; штучний інтелект; авторські права;

Keywords—education; artificial intelligence; copyrights;

I. ВСТУП

Віднедавня сервіси, які використовують технологію штучного інтелекту (ШІ), стали доступними для користувачів інтернету для особистого використання. Ці сервіси спрощують пошук інформації в інтернеті, надають можливість генерування тексту, зображень чи навіть аудіо по заданих параметрах та розв'язання завдань навчання чи роботи. Але разом з цим, користування ШІ створює проблему у процесі навчання а також у розумінні школярами/студентами матеріалу, як наслідок із поданням наданих школярами/студентами матеріалів та володінням авторських прав на них. Внаслідок цього, може страждати якість навчання та якість знань школярів/студентів що

унеможливило якісно оцінювати матеріали подані ними, адже немає можливості перевірити авторство поданих матеріалів.

II. ПРАВОВІ ЗАСАДИ АВТОРСЬКИХ ПРАВ НА МАТЕРІАЛИ ШІ

Перш за все, потрібно з'ясувати законодавчі аспекти даної проблеми. Законодавство відносно регулювання ШІ та авторських прав на матеріали створені ШІ все ще розвивається. Початкові нормативи та терміни вже визначені, проте у більшості країн ще немає конкретного законодавства, яке регулювало б авторські права в контексті ШІ.

Згідно законодавства України, прийнятого у грудні 2020, усі матеріали створені ШІ належить людині [1]. У США авторське право на твір належить автору, а не ШІ, навіть якщо ШІ створив твір. Законодавство США щодо авторських прав також передбачає можливість використання захищеного матеріалу в обмеженому обсязі за умови, що це відбувається на підставі дозволу автора чи за відсутності підстав для забезпечення цього використання [2]. У Європейському союзі закон, опублікований Європейською Комісією, містить положення щодо авторських прав в контексті ШІ. Зокрема, в проєкті закону передбачено, що якщо твір створений за допомогою ШІ, автором вважатиметься той, хто здійснив вибір параметрів ШІ, що вплинули на створення твору. Проте, це положення є досі предметом обговорення та може змінитися [3].

Тобто згідно законодавства усі матеріали створені ШІ все ж належать особі, яка вводила параметри пошуку чи генерування контенту. Тому визначальним аспектом при

користуванні цими сервісами буде вибір параметрів пошуку, отже і об'єктом авторських прав будуть ці параметри пошуку які використала людина. Відтак варто розглянути питання вибору цих параметрів та взаємозв'язку із отриманим результатом.

Нещодавно один з сервісів ШІ для генерування зображень за параметрами, вже закритий вільний доступ до свого сервісу, та перевів усе використання на платну передплату. Інші сервіси пропонують також додаткові послуги на платній основі, але пропонують базові послуги, які надаються в черзі на безкоштовній основі. Проте існує ймовірність переведення усіх сервісів на платні передплати, блокування користування для певних вікових груп або ж взагалі блокування таких сервісів у окремих країнах, як наприклад це зробила Італія через проблеми з конфіденційністю [4].

III. ЯКІСНА ОЦІНКА ЗГЕНЕРОВАНИХ ДАНИХ

Для того, щоб сервіс ШІ міг почати процес генерування будь-яких даних, потрібно задати ключові слова або запит по бажаній темі. Якість та відповідність отриманого результату від ШІ дуже залежить від правильності та коректності введених параметрів, тож особа, яка користується такими сервісами має володіти певною часткою інформації, яку потрібно надати ШІ для отримання коректного результату. В цілому, в окремих випадках результат роботи ШІ не завжди є коректним, або ж не надто відрізняється від звичайної відповіді пошукових систем. Різниця у даному контексті буде у поданні отриманого результату. ШІ подає результат у більш розширеному вигляді із більшою кількістю зв'язуючих слів притаманні людському спілкуванню, порівнюючи із результатом пошукових ресурсів.

Для більш якісного результату, а також кращого подання якщо необхідний більше формальний підхід, тексти згенеровані не годяться. У цьому випадку потрібне добре розуміння та формулювання користувачем запиту. Також уточнення або формування покрокового плану і подання запитів, може значно покращити результат. Але все це вимагає від користувача певного розуміння як алгоритму роботи ШІ, так і бажаного матеріалу. Проте в цілому, алгоритми та моделі ШІ натреновані на великій кількості літератури та різноманітних текстах, тому результати будуть в ґрунтуватися тільки на них.

IV. КОРИСТУВАННЯ СЕРВІСАМИ ШІ В НАУКОВІЙ СФЕРІ

В науковій сфері тематиці користування ШІ приділено чимало уваги. Це як питання авторських прав, так і питання етики та доброчесності використання отриманих матеріалів.

Окремі наукові журнали та видання вимагають зазначити матеріали, які були отримані від ШІ.

Були проведені та опубліковані Наукові дослідження та праці по визначенню чи є користування ШІ для генерування тексту нечесним [5,6]. У цих дослідженнях наводяться факти, що наукові дослідження, статті чи анотації згенеровані сервісами ШІ проходять рецензування та були прийняті до опублікування.

Проводилися також дослідження для виявлення тексту згенерованого ШІ [7,8,9] та способи додавання водяних знаків в текст для розпізнавання природної мови [10,11]. Також у своїх працях [12] науковці продемонстрували та співставили як детектори згенерованого текст ШІ так і можливості обійти та атакувати такі системи, а також як такі детектори можуть надати негативно позитивний результат на текст створений людиною.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Про схвалення Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні. від 2 грудня 2020 р. № 1556-р Київ <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text>
- [2] Legislation Related to Artificial Intelligence, National Conference of State Legislatures Jan. 5, 2022 <https://www.ncsl.org/technology-and-communication/legislation-related-to-artificial-intelligence>.
- [3] European Commission, Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology, Hartmann, C., Allan, J., Hugenholtz, P., et al., Trends and developments in artificial intelligence : challenges to the intellectual property rights framework : final report, Publications Office, 2020, <https://data.europa.eu/doi/10.2759/683128>
- [4] Італія тимчасово блокує ChatGPT через проблеми конфіденційності. 01 квітня 2023. <https://www.radiosvoboda.org/a/news-italiya-blokuvannya-chatgpt/32344203.html>
- [5] Baquero, Carlos. (2022). Is having AI generate text cheating?. Communications of the ACM. 65. 6-7. 10.1145/3565976.
- [6] Khlaif, Zuheir. (2023). The potential and concerns of using Artificial Intelligence in scientific research: ChatGPT case (Preprint). 10.2196/preprints.47049.
- [7] Chakraborty, Souradip & Bedi, Amrit & Zhu, Sicheng & An, Bang & Manocha, Dinesh & Huang, Furong. (2023). On the Possibilities of AI-Generated Text Detection.
- [8] Pandya, Hariom & Bhatt, Brijesh. (2021). Question Answering Survey: Directions, Challenges, Datasets, Evaluation Matrices. Xi'an Dianzi Keji Daxue Xuebao/Journal of Xidian University. 15. 152-168.
- [9] Lavergne, Thomas & Urvoy, Tanguy & Yvon, François. (2008). Detecting Fake Content with Relative Entropy Scoring..
- [10] Atallah, Mikhail & Raskin, Victor & Crogan, Michael & Hempelmann, Christian & Kerschbaum, Florian & Mohamed, Dina & Naik, Sanket. (2001). Natural Language Watermarking: Design, Analysis, and a Proof-of-Concept Implementation. 185-199. 10.1007/3-540-45496-9_14.
- [11] Meral, Hasan & Sumru, A & Zsoy, Ö & R, Tunga & Sevinç, Emre. (2008). Natural language watermarking via morphosyntactic alterations.
- [12] Sadasivan, Vinu & Kumar, Aounon & Balasubramanian, Sriram & Wang, Wenxiao & Feizi, Soheil. (2023). Can AI-Generated Text be Reliably Detected?.

Застосування програмованих радіостанцій для побудови систем типу «Друг-Невідомий»

Леонід Гуляницький
Відділ методів комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН
України
Київ, Україна
leonhul.icyb@gmail.com

Максим Огурцов
Відділ методів комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН
України
Київ, Україна
maksymogurtsov@gmail.com

Вячеслав Корольов
Відділ методів комбінаторної оптимізації та інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики
імені В.М. Глушкова НАН
України
Київ, Україна
korolev.academ@gmail.com

Programmable radio stations usage for the "Friend-Unknown" system development

Leonid Hulyanytskyi
Department of combinatorial optimization methods and intelligent information technology
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
leonhul.icyb@gmail.com

Maksym Ogurtsov
Department of combinatorial optimization methods and intelligent information technology
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
maksymogurtsov@gmail.com

Vyacheslav Korolyov
Department of combinatorial optimization methods and intelligent information technology
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
korolev.academ@gmail.com

Анотація—2022-2023 роки показали, настільки велику актуальність мають для забезпечення можливості захисту незалежності будь-якої держави системи впізнавання, що працюють на державному рівні і здатні розпізнавати власні літальні апарати, відрізняючи їх від невідомих та ворожих літальних апаратів. В першу чергу це важливо для визначення приналежності безпілотних літальних апаратів на полі бою – оскільки сучасний бій має ознакою одночасне використання великої кількості безпілотних засобів різних типів обидвома сторонами конфлікту. Але таке впізнавання може бути поширене і на наземні, надводні та підводні безпілотні та пілотовані апарати. Першим кроком для побудови сучасної та ефективної системи впізнавання типу «Друг-Невідомий» стало формулювання вимог до такої системи. Невідповідність будь-якій з цих вимог зробить систему ненадійною чи обмежить її функціональність. Другим кроком стало визначення переваг і недоліків системи державного впізнавання, що використовується на сьогоднішній день в Україні – для оцінки та визначення того, чи варто її замінити досконалішою системою. Розглянуті сучасні системи впізнавання, що використовуються на

сьогоднішній день розвиненими країнами світу. Сформульовано концепцію застосування резервних каналів зв'язку для підвищення точності впізнавання. Розроблений тестовий комплекс – лабораторний макет системи «Друг-Невідомий» на основі програмованих радіостанцій з резервними каналами дозволив перевірити та успішно підтвердити запроповану концепцію на робочих частотах 433 МГц та 2.5 ГГц. Використання резервних каналів дозволить знизити як кількість хибно-позитивних, так і хибно-негативних спрацювань системи «Друг-Невідомий».

Abstract—Years 2022-2023 showed how important it is for any country to ensure the ability to protect it from the enemy military – to use recognition systems that work at the state level and can recognize their own aircrafts, distinguishing them from unknown and enemy aircraft. First, this is important for determining the affiliation of unmanned aerial vehicles on the battlefield – since modern combat is characterized by the simultaneous use of many various unmanned vehicles by both sides of a conflict. But such recognition can be extended to land, naval and underwater unmanned and manned vehicles. The first step to building a

modern and effective "Friend-Unknown" recognition system was the requirements formulation for such system. Failure to comply with any of these requirements would make the system unreliable or limit its functionality. The second step was to determine the advantages and disadvantages of the state identification system used today in Ukraine – to evaluate and determine whether it should be replaced by a more advanced system. Modern recognition systems used today by the developed countries of the world are considered. The concept of using backup communication channels to increase recognition accuracy is formulated. The developed laboratory model of the "Friend-Unknown" system based on programmable radio stations with backup communication channels allowed to test and successfully confirm the proposed concept applicability at the operating frequencies of 433 MHz and 2.5 GHz. The use of backup channels will reduce both the number of false-positive and false-negative answers from the "Friend-Unknown" system.

Ключові слова—друг-невідомий, система впізнання, державне впізнання, ідентифікація

Keywords— friend-unknown, recognition system, state recognition, identification

I. ВСТУП

2022 рік показав нагальну потребу удосконалення існуючих систем розпізнавання та ідентифікації повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий», що зумовлено збільшенням кількості повітряних об'єктів (особливо безпілотних) на полі бою. Так, в Україні було оголошено про створення армії безпілотників. На першому етапі реалізації програми буде закуплено 200 БПЛА для повітряної розвідки. На другому етапі кожен підрозділ ЗСУ матиме щонайменше один власний розвідувальний БПЛА.

Таке стрімке зростання кількості повітряних об'єктів, які одночасно беруть участь у бойових діях у повітрі, потребує суттєвого вдосконалення систем розпізнавання об'єктів військової техніки (ОВТ) як якісно, так і кількісно. Це потребує розробки відповідних алгоритмів ідентифікації повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» нового покоління.

Але слід враховувати, що оскільки обстановка в повітряному просторі поля бою змінюється особливо динамічно, ідентифікацію повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» необхідно проводити якомога швидше. Слід також враховувати, що існують принципові відмінності у вимогах до цивільних і військових систем розпізнавання повітряних об'єктів. При їх визначенні будемо використовувати визначення «легітимний повітряний об'єкт» – це повітряний об'єкт, який має право перебувати в досліджуваному повітряному просторі, має працюючий відповідач (транспондер) системи ідентифікації та надає правильні відповіді на запити від центра ідентифікації.

II. ОСНОВНІ ПИТАННЯ, ЩО РОЗГЛЯДАЮТЬСЯ В ЦЬЙ РОБОТІ

- Основні вимоги до системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» як системи обробки, передачі, захисту інформації та ідентифікації об'єктів на основі методів криптографії та захисту інформації,

- визначення основних вимог до військових систем впізнання,
- визначення переваг і недоліків існуючої системи розпізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий»,
- розробка тестового комплексу, що включає апаратну та програмну частини для практичного вивчення алгоритмів впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» із зарезервованими каналами.

III. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

В світі не так багато країн (чи їх об'єднань) мають власні системи впізнання типу «Свій-Чужий» чи «Свій-Невідомий» (можна виділити блок НАТО, Російську Федерацію та її сателіти, Індію та Китай) [1]. Варіант системи «Свій-Невідомий» є більш сучасним – він дозволяє зменшити ймовірність хибно-негативних спрацювань і, відповідно, зменшити втрати від дружнього вогню [2].

На сьогоднішній день в якості системи державного впізнання типу «Свій-Чужий» в Україні використовується апаратно-програмний комплекс "Пароль-М", який є модифікацією радянської системи, розробленої у 80-х роках 20-го століття та сам був розроблений на заміну давно застарілому комплексу «Кремній-2 (2М)», що підтримувала лише 10 запитувачів та 10 відповідачів одночасно. Технічні можливості комплексу "Пароль" передбачають одночасне розпізнавання до 110 запитувачів і 110 відповідачів [3]. При цьому аналогічна система в країнах блоку НАТО – MarkXII (зараз розробляється її модифікована, вдосконалена версія) виконує в номінальному режимі 400 опитувань в секунду [4].

IV. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВІЙСЬКОВИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ

Тепер розглянемо системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» для військових застосувань. Основний принцип роботи будь-якої сучасної загальнодержавної системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий», яка використовується у військових застосуваннях, полягає в тому, що повітряний об'єкт повинен обробити вхідний запит за певною формулою (яка є криптографічною таємницею і регулярно змінюється, наприклад, кожні 24 години). На відміну від цивільних систем, до них визначено наступні основні вимоги [4-5]:

1) *Максимальна швидкість процесу розпізнавання.* Оскільки ситуація на полі бою змінюється дуже швидко, а для повітряного бою це твердження тим більше актуальне, будь-яке зволікання з процесом розпізнавання може призвести до втрат, у тому числі людських.

2) *Захист від помилкових спрацювань.* В разі хибнопозитивного результату ідентифікації повітряного об'єкта можливі авіаудари та людські жертви. Тому захист від такої загрози має бути найвищим пріоритетом системи впізнання.

3) *Захист від імітації правильних запитів і відповідей.* Оскільки в процес обміну інформацією під час впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» здійснюється через радіоэфір, цілком можливо, що всі дані можуть бути перехопленим ворогом. Після цього ворог може спробувати просто повторити ті самі відповіді на запити центру розпізнавання або спробувати змінити їх, щоб імітувати легітимний повітряний об'єкт. Тому система впізнання повинна бути надійно захищена від такого роду атак [6].

4) *Підтримка великої кількості повітряних об'єктів.* Як уже зазначалося вище, військова система впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» повинна підтримувати одночасне впізнання багатьох повітряних об'єктів різного типу, щоб вчасно визначити приналежність літаків, вертольотів, ракет, БПЛА та їх груп.

5) *Захист від випадків законної втрати повітряного об'єкта.* Ця вимога говорить про те, що ми повинні бути готові до ситуації, коли легальний повітряний об'єкт був зламаний або збитий над територією противника або іншим чином потрапив до рук ворога. Якщо немає захисту від такої ситуації, це призведе до компрометації всієї системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий». Як наслідок, це призведе до повної заміни системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» на всіх законних повітряних об'єктах. Таким чином, не сама система повинна бути секретною, а інформація в ній, і її повинна бути можливість легко замінити.

6) *Потайна ротація секретної частини.* Щоб запобігти можливості компрометації секретної частини системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий», ротація секретної частини має бути постійною. Зазвичай рекомендованим значенням є зміна секретної частини щодня. Ця вимога збігається з попередньою вимогою та доповнює її.

7) *Захист від хибнонегативного спрацювання для запобігання дружнього вогню.* У разі військових дій обмін через радіоэфір часто може бути додатково ускладнений (наприклад, через вплив РЕБ, як дружній, так і ворожий). Але система впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» повинна працювати максимально надійно, щоб запобігти нерозпізнанню правильної відповіді легітимним повітряним об'єктом. Ця проблема дуже актуальна для запобігання застосуванню, наприклад, зенітної зброї по дружніх цілях (так званий «дружній вогонь»).

8) *Захист від атак типу «людина посередині».* Зловмисник ретранслює запити та відповіді між центром керування рухом та легітимним повітряним об'єктом. У результаті законний об'єкт отримує дійсний запит впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий». Він зможе таким чином зібрати цінну інформацію. Від такої атаки складно захиститися, але цей захист необхідний.

9) *Гнучка інтеграція з системою розпізнавання блоків НАТО.* Оскільки Україна йде курсом на євроатлантичну інтеграцію та швидкими темпами рухається до стандартів НАТО, у майбутньому виникне нагальна необхідність інтеграції системи впізнання військових об'єктів із відповідною системою країн НАТО – для проведення міжнародних тренувань та операцій.

10) *Суто вітчизняне виробництво та підтримка системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий».* Якщо для цивільних систем можливе придбання системи в цілому або її компонентів за кордоном, то для військової системи впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» такий підхід неприпустимий через підвищені ризики витоку інформації потенційним противникам.

11) *Захист від засобів РЕБ.* Ця вимога пов'язана з кількома іншими та визначає, що система впізнання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» має працювати та визначати приналежність об'єктів навіть у разі активного застосування засобів радіоелектронної боротьби.

12) *Підтримка декількох режимів впізнання.* Зазвичай при ідентифікації військових об'єктів підтримка таких запитів, як "Де ти?" і хто ти?" Крім того, часто потрібні звичайний і контрольний режими розпізнавання (для виявлення повітряних об'єктів противника, які використовують маскування проти засобів розпізнавання).

13) *Підтримка сучасних альтернативних технологій розпізнавання.* Такі технології, як Battlefield Target Identification Device (BTID), Radio Based Combat Identification (RBCI) і Radio Frequency (RF) теги бажано підтримувати будь-якою сучасною системою ідентифікації FoF [3].

V. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ СИСТЕМИ ПОВІТРЯНИХ ОБ'ЄКТІВ, ЯКА ЗАРАЗ ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В УКРАЇНІ

Переваги:

1) *Наявність режиму антиімітаційного розпізнавання.*

2) *Досить прості алгоритми можуть працювати навіть на застарілому обладнанні.*

3) *Наявність режиму гарантованого розпізнавання.*

4) *Можливість виконання процедури розпізнавання навіть в умовах застосування високоінтенсивних перешкод.*

5) *Наявність індивідуальних кодів для розпізнавання за принципом "Хто ти?".*

6) *Захист від отримання відгуків на бічних пелюстках діаграми спрямованості.*

7) *Використання високочастотного діапазону.*

8) *Різні частоти запитів і відповідей.*

Недоліки:

9) *Підтримка недостатньої кількості (110) об'єктів впізнання.*

10) Недостатній радіоелектронний захист процесу розпізнавання.

11) Недостатня імітаційність – ймовірність імітації супротивником правильної відповіді на запит впізнавання системи «Пароль» становить до 0,5%.

12) Відсутність взаємодії з будь-якими видами озброєння наземного базування (броньована техніка, ручна протиповітряна оборона тощо) для запобігання ведення дружнього вогню.

13) Відсутність можливості інтеграції з системою впізнавання НАТО.

14) Неможливість оновлення алгоритму, який використовується в комплексі «Пароль-М».

15) Недостатня кількість індивідуальних ідентифікаційних кодів для запитів типу "Хто ти?".

16) Висока ймовірність виявлення та перехоплення сигналів впізнавання.

17) Принципи роботи системи відомі ворогу (фахівцям з РФ) в усіх подробицях.

VI. СУЧАСНІ ЗАСОБИ ВПІЗНАВАННЯ

У країнах НАТО велика робота спрямована на впізнавання повітряних і наземних об'єктів на полі бою [3]. Серед напрямків розвитку так званої системи бойової ідентифікації Battlefield Combat Identification System (BCIS) слід виділити:

- Ідентифікація на основі засобів автоматичної радіопередачі даних усіх військ (Radio Based Combat Identification – RBCI).
- Ідентифікація за допомогою радіоміток (Radio Frequency Identification tags – RF tags).
- Впізнавання цілей на полі бою (застосування Battlefield Target Identification Device – BTID).

RBCI, яку ще називають Battlefield Force Tracking System (BFTS) або Blu-Force Tracking (BFT), побудовано на основі мереже-орієнтованих принципів. Кожен дружній об'єкт, обладнаний цією системою, передає дані (включаючи місцезнаходження об'єкта) кожні 5 хвилин, використовуючи супутниковий зв'язок або дуже високочастотну мережу радіозв'язку. В активному режимі запитувач надсилає загальний запит із координатами – а відповідач порівнює отримані координати зі своїми, і якщо вони збігаються – надсилає відповідь. Всі дані в бездротових каналах зв'язку зашифровані.

Перевагою цього підходу є можливість розпізнавати об'єкти поза прямою видимістю. Недоліками є необхідність використання на полі бою складної системи ретрансляторів, швидке старіння даних (особливо по швидкорухомих об'єктах), висока вразливість до засобів РЕБ, висока вартість системи.

Впізнавання за допомогою радіоміток (RF-міток) також відбувається за принципом «запит-відповідь», як і для цивільних міток, що використовуються, наприклад, на складах. Відповідь у цій системі формується шляхом модуляції вхідного запиту. Використовуються активні

(схожі на BTID), напівактивні (мають своє джерело живлення) і пасивні (живляться енергією запитів від радіопристрою запитувача). Дальність виявлення активних або напівактивних міток може досягати 40 км [3]. Радіомітки наразі є єдиним потенційно застосовним методом ідентифікації для визначення приналежності окремих військовослужбовців або їхніх невеликих підрозділів на полі бою. І завдяки своїм невеликим розмірам і вимогам до потужності, вони також потенційно придатні для БПЛА.

Системи BTID призначені для розпізнавання повітряних об'єктів у форматі «друг-невідомий». Його суть нічим не відрізняється від загального принципу FFI (Friend or Foe Identification), який використовується в системі НАТО Mk XII. Термін «друг-невідомий» був введений у військову практику з думкою, що об'єкт розпізнавання, який не відповів на запит, не обов'язково є об'єктом противника [3]. Системи BTID також працюють за принципом «запит-відповідь», сигнали шифруються і, щоб зменшити ймовірність перехоплення, є ширококутовими.

VII. СТВОРЕННЯ МАКЕТА СИСТЕМИ ВПІЗНАВАННЯ

Практика масованих бойових дій із застосуванням авіації, БПЛА та ракет противника, яку Україна отримала у 2022-2023 роках, показала, що багато літаків противника було збито з ручних пускових установок, які не передбачають використання системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий». Оскільки ворог, як і Україна, в основному використовує літаки радянських часів або їх модернізовані варіанти з дуже схожими силуетами та характеристиками, часто атакуються власні літаки. Тому пропонується резервувати канали для системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» і створити малогабаритний пристрій, який можна встановлювати на переносні ракетні комплекси для ідентифікації цілей.

Дві пари програмно-керованих радіостанцій Ettus B200 і HackRF One були використані як лабораторна модель для створення макету системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» з урахуванням вищесформульованих вимог. Вони реалізують запропоновану концепцію впізнавання з резервними каналами: виконували функції основного і резервного каналів передачі даних. В результаті виконаних робіт магістральний канал може використовувати ширококутові сигнали в діапазоні надвисоких частот, в якому працюють РЛС зенітно-ракетних комплексів.

Резервний канал системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» працює в ультракороткому діапазоні частот. Його можуть використовувати розробники переносних зенітно-ракетних комплексів. Крім різних робочих частот, основний і резервний канали використовували різні типи кодування: мультиплексування з ортогональним частотним поділом і квадратурну маніпуляцію амплітудою. Обидва канали використовують однаковий тип шифрування пакетів даних. На рис. 1 наведено частину розробленого лабораторного стенду для перевірки працездатності запропонованої концепції системи впізнавання повітряних об'єктів типу

«Друг-Невідомий» з резервними каналами. Стенд складається з двох програмно-керованих радіостанцій HackRF One, двох програмно-керованих радіостанцій Ettus B200 і двох ноутбуків із середовищем моделювання GNURadio версії 3.7.10.

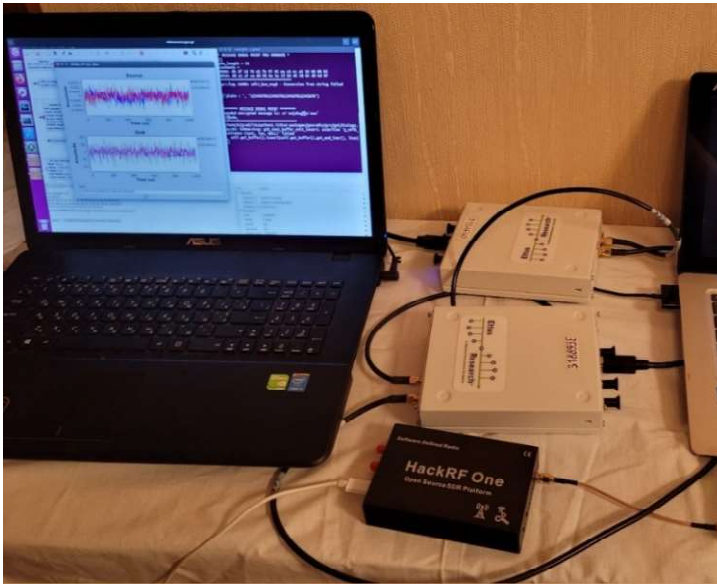


Рис. 1. Лабораторний комплекс для дослідження роботи системи впізнавання з резервними каналами.

Для розробки програмного забезпечення для радіомодемів можна використовувати:

- програмний комплекс GNURadio.
- Комплекс Simulink MatLab.
- Комплекс LabView.
- бібліотеки від виробника програмних радіостанцій.
- бібліотеки від незалежних розробників.
- програмне забезпечення для створення систем на програмованих контролерах Altera (Intel) або Xilinx (AMD).

Всі перераховані засоби розробки використовувалися на різних етапах розробки макету системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий», але оскільки комплекс GNURadio показав найкращі результати в області стабільності, функціональності та продуктивності, результати досліджень і розробок викладені на основі цей інструмент розробки.

На рис. 2 показано частотно-часову (WaterFall) діаграму передачі та прийому зашифрованих сигналів запиту програмно-керованими радіостанціями HackRF One. У цьому прикладі використовувався запит "12345678123456781234567812345678".

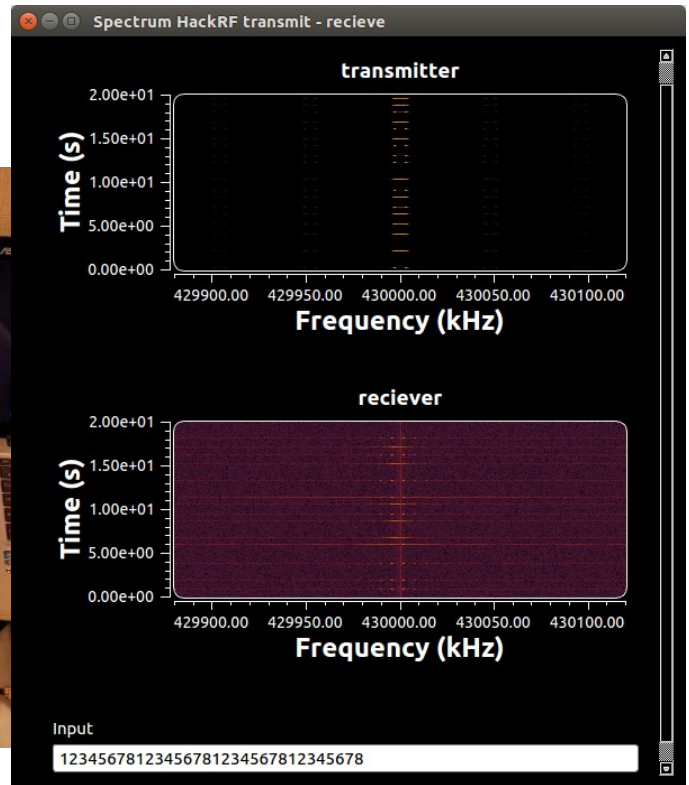


Рис. 2. Частотно-часова діаграма передачі та прийому сигналів терміну зашифрованого запиту.

Дослідження та експерименти з радіостанціями, керованими програмним забезпеченням HackRF One, показали, що без використання прецесійних опорних частотних генераторів і фільтрів система декодувала лише половину пакетів даних. Робоча частота становила 433 МГц. На відміну від неї професійна програмно-керована радіостанція Ettus B200, яка успішно прийняла і декодувала приблизно 99% пакетів. Робоча частота становила 2,5 ГГц. Тому можна сказати, що програмно керовані радіостанції HackRF One не можна використовувати для побудови системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» з резервними каналами – у реальних умовах поза лабораторією результати були б ще гіршими. А от програмно-керована радіостанція Ettus B200 застосовна для цієї задачі – і запропонована концепція може бути повноцінно реалізована з її використанням.

Перевагою радіостанцій Ettus B200 є повна відкритість їх електронних схем і наявність у вільному доступі схем розміщення компонентів і їх підключення на платі, що дозволяє використовувати їх як первинний прототип для проектування якісних цифрових радіостанцій.

Проведені експерименти з використанням радіостанцій Ettus B200 показали стабільну роботу системи в лабораторних умовах для зашифрованих 32-байтних пакетів даних AES-256, що є основою для подальших дослідно-конструкторських робіт.

VIII. ВИСНОВКИ

Застосування противником однотипних літаків і гелікоптерів ускладнює візуальне визначення їхньої державної приналежності за принципом «Друг-Невідомий» і потенційно може призвести до дружнього вогню. Використання переданої союзниками великої кількості різних типів засобів ППО створює проблему подальшої інтеграції такої техніки в систему ППО України, що потребує розробки відповідних засобів впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий». Такі пристрої можуть використовувати різні типи частотних діапазонів і сигнально-кодових структур, а їх розробка буде базуватися на різних вимогах до масогабаритних характеристик і потужності передавача сигналів системи впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий». Використання багатьох різних типів систем і вимог до інтеграції систем впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» з відповідними системами НАТО підіймає питання про надійність системи в цілому.

Підвищення надійності запропонованих у роботі систем впізнавання повітряних об'єктів типу «Друг-Невідомий» та систем зв'язку базується на розроблених вимогах та створеній концепції використання резервних каналів передачі даних. Такі резервні канали мають використовувати різні робочі частоти та різні види частотної обробки цифрових радіосигналів для підвищення стійкості системи спеціального зв'язку до перешкод станціями радіоелектронної боротьби. Підвищити продуктивність ідентифікації цілей можна за рахунок використання розподіленої обробки в командних точках, з'єднаних спеціальною мережею [6].

Запропоновані результати також можуть бути використані для побудови захищених систем зв'язку, дистанційного керування безпілотними літальними апаратами та безпілотними наземними роботами. Результати можуть бути перенесені на програмовані логічні інтегральні схеми та використані у військових завданнях, для яких ця концепція та технологія виробництва відповідають стандартам діяльності відповідних підрозділів Збройних сил.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] L. Bowden, "The story of IFF (identification friend or foe)", in *IEE Proceedings A (Physical Science, Measurement and Instrumentation, Management and Education, Reviews)*, 132(6), 1985, pp.435-437.
- [2] Г. Г. Камалтинов та ін., "Впізнавання об'єктів на полі бою. Аналіз світового досвіду." *Озброєння та військова техніка* 4, 2016, с.22-26.
- [3] О. Zakrevskyi "Свой — чужой", 11 червня 2014, [Online]. Доступно: <https://dou.ua/forums/topic/10097/> [2023, червень 02].
- [4] *STANAG 4193. Technical Characteristics Of The IFF Mk XIII System.* NATO, 2016. p. 45.
- [5] *ДСТУ 4550:2006 «Система державного впізнавання об'єктів. Впізнавання радіолокаційне. Терміни та визначення понять.»* чинний: від 2007-08-01 згідно з Наказом Державного комітету України з питань технічного регулювання та споживчої політики № 76 від 04.04.2007.
- [6] Ogurtsov, M. I. "Friend-or-Foe Recognition Algorithm Development for the Corresponding Software Building." *Problems in programming* 3-4, 2022. pp. 387-395.

Ontology Framework for Internet of Things Systems Security Management

Oleksiy Kovalenko

Department of Computer Systems, Networks and Cyber-security,
National University of Life and Environmental Sciences
of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9639-3544>

Natalia Karevina

Department of Scientific Research Organization,
Institute of Mathematical Machines and Systems
Problems of National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3291-8946>

Abstract— The Internet of Things (IoT) is one of the general directions of the development of modern computerized systems. Ensuring security is one of the issues of the sustainable functioning of such systems. Effective development of security systems for IoT requires specific domain knowledge support. One way to use a knowledge base in security management is the "ontological approach to security", which creates a conceptual relationship between objects representing information, having a systematic overview to identify, analyze and detect security countermeasures. The implementation of this approach for IoT must take into account the implementation of its architecture for the domain of use. The article proposes a structure of a domain-oriented ontology for building the security capabilities of IoT systems.

Keywords— *IoT architecture, cybersecurity, knowledge-based security management, ontology*

I. INTRODUCTION (HEADING 1)

The Internet of Things (IoT) is a necessary part of modern computerized systems in different domains of human activity. In general, IoT technologies collect, exchange and process data in order to dynamically adapt to a specific context, transforming the business world and the way we live as a whole [1]. General and specific IoT term and definitions is presented in ISO/IEC 20924:2021 standard. This ISO define IoT as "an infrastructure of interconnected objects, people, systems and information resources together with intelligent services to allow them to process information of the physical and the virtual world and react." [2]. ITU-T Y.2060 recommendation notes that "from the perspective of technical standardization, the IoT can be viewed as a global infrastructure for the information society, enabling advanced services by interconnecting (physical and virtual) things based on existing and evolving interoperable information and communication technologies (ICT)" [3]. IoT is a cyber-converged system [4] that includes things, communication tools, target applications, and data analysis tools that support unique identification of each object. The growing scale and complexity of IoT systems, on the one hand, and security threats, on the other, require the development of security management tools taking into account the specifics of the domain of use.

II. RELATED WORKS

IoT security organization issues are addressed in a large number of publications in this field of research and engineering from different perspectives. In particular, general issues of IoT security are discussed in [5, 6]. IoT security with

the focus on the impact of emerging technologies outlined in [7]. Issues of forming security requirements for IoT components examines in [8, 9]. Security measures review for IoT is presented in [10]. A special place in research on ensuring IoT security is occupied by works focused on the use of formalized knowledge and ontologies [11, 12, 13, 14].

III. IOT ONTOLOGY COMPONENTS

Various sets (cases) of information, communication, and organizational technologies are used for the implementation of the IoT processes, which are necessary to solve the IoT tasks in the target subject area. The variety of components, the changeability of the problems of the system and the requirements for their solution require the task of quick adaptation of the system to solve current problems. The use of standard IoT design technologies may be unacceptable due to limited resources and the need for operational integration (convergence) of the requested IoT within the framework of a specific implementation (configuration) of the IoT ecosystem to solve current tasks. The IoT ecosystem creates as set of independent constituent systems and technologies integrated into the principles of convergence. IoT components may be classified as architectural, process, and information.

A. IoT architecture

The functional capabilities and properties of a separate IoT system configuration are determined by its architecture. System architecture is defined as a conceptual model that defines the structure, behavior and multiplicity of types (projections) of the system. An architecture description is a formal description and presentation of a system, organized in such a way as to support conclusions (assumptions) about the structures and behavior of the system. The general description of the system architecture consists of three types of descriptions: structural, functional and organizational. Characteristics of IoT systems are classified by three categories: architectures, trustworthiness, and functional. The IoT reference model presented as convergence of two contexts: entity-based and domain-based.

B. IoT Processes

The main sense of IoT usage is decision-making on different layers of activity. Devices and objects with built-in sensors are connected to the IoT platform, which integrates data from various devices and applies analytics to share the most valuable information with applications created to meet specific needs. Powerful IoT platforms can determine exactly which information is useful and which can be safely ignored.

The resulting information can be used to identify patterns, make recommendations, and identify potential problems before they occur. As a constituent of decision-making processes IoT are implemented within the perceptual cycle and include stages of empirical awareness of the environment (target area), building and applying its model in the formation of rational behavior in the environment based on periodic updates of awareness of the current environment. Awareness of the state of the environment and the formation of rational behavior on its basis are carried out using the mechanisms of logical inference, corresponding to the stages of the perceptual cycle. Such mechanisms of logical inference in the cycle of situational interaction with the environment are abduction, induction, deduction and case based reasoning (CBR)

C. IoT information

The formal description of the subject area of the IoT, for which a problem-oriented IoT is created, is a hierarchy of concepts (notions) and functional transformations that will be operated by users. The formal description of the subject area should also contain a generalized description of the IoT process model. The composition of IoT technologies should be carried out taking into account the architecture of the IoT. Thus, the main task of the composition of components within the framework of the convergent architecture of the IoT can be defined as establishing the correspondence between the formal description of the application area and the means of information technologies.

IV. MODEL OF IOT SECURITY

Risk assessment is the basis of security management and the use of an adequate set of security models. Information assets are parts of the IT architecture. Therefore, when evaluating information assets, we consider these assets as an instance (variant) of the IT architecture. The model describes risk factors related to threats, vulnerabilities and IT architecture [11]. The convergent knowledge model of information security management is implemented on the basis of knowledge models of risk components. Model of information security management for IoT is presented as tuple

$$T = \langle A, P, I, R, C, F \rangle$$

where A is an IoT architecture model; P is a processes model in IoT system; I is an information model of IoT system; R is a risks model of IoT system; C is a connectivity model; F is a model of information interpretation in IoT system. The notions of security and privacy by default and security and privacy by design naturally emerge as being foundation cornerstones of IoT security. Evidently, it is challenging to apply these concepts in several different environments that will have particular characteristics. In IoT the cyber risk is context-dependent (i.e. based on the application scenario) and in this respect the principles of security and privacy by design should be applied with this consideration in mind. Following relevant initiatives from other, more mature IT sectors can prove to be beneficial in adopting such principles for the IoT ecosystem.

V. CONCLUSIONS

The diversity, heterogeneity, complexity and spatial distribution of IoT systems cause corresponding difficulties in building their security systems. The application of a

knowledge-oriented approach allows you to speed up the process of designing security tools for IoT, taking into account the specifics of their field of application based on a generalized ontology. The proposed framework defines the components of the IoT model as generalized classes that can be detailed by specific scope concepts. Generalized ontological classes of architecture, processes, information, and risks are used to represent the IoT ecosystem. Each of the generalized classes can be specified by appropriate target subclasses and domain concepts. The developed framework can be used when building a target IoT with appropriate security means.

REFERENCES

- [1] The European Union Agency for Cybersecurity (ENISA), "Baseline security recommendations for IoT," November 20, 2017. URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/baseline-security-recommendations-for-iot>.
- [2] ISO/IEC 20924:2021. Information technology – Internet of Things (IoT) – Vocabulary, 2021. URL: <https://www.iso.org/standard/82771.html>
- [3] ITU-T, Y.2060: Overview of the internet of things, Technical report, International Telecommunication Union, 2012. URL: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-1>
- [4] O. Kovalenko, "Knowledge Driven Cyber-Convergent Systems Based on Situational Agents," 2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2022, pp. 243-246, doi: 10.1109/CSIT56902.2022.10000762.
- [5] S. Madakam, R. Ramaswamy and S. Tripathi. Internet of Things (IoT): A Literature Review. Journal of Computer and Communications, volume 3 (2015): 164-173. doi: 10.4236/jcc.2015.35021.
- [6] V. Mullet, P. Sondi and E. Ramat, "A Review of Cybersecurity Guidelines for Manufacturing Factories in Industry 4.0," in IEEE Access, vol. 9, 2021, pp. 23235-23263. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3056650.
- [7] Phillip Williams, Indira Kaylan Dutta, Hisham Daoud and Magdy Bayoumi. A survey on security in internet of things with a focus on the impact of emerging technologies, Internet of Things, volume 19, (2022) 100564. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100564>.
- [8] Gideon Ogunniye, Nadin Kökciyan, "A Survey on Understanding and Representing Privacy Requirements in the Internet-of-Things," Journal of Artificial Intelligence Research, vol.76, 2023, pp. 163-192. <https://jair.org/index.php/jair/article/view/14000>.
- [9] A. Souag, R. Mazo, C. Salinesi and I. Comyn-Wattiau, "Using the AMAN-DA method to generate security requirements: a case study in the maritime domain", Requirements Eng., vol. 23, issue 4, 2018, pp. 557–580. <https://doi.org/10.1007/s00766-017-0279-5>
- [10] Johan Smith Rueda-Rueda and Jesus M. T. Portocarrero, "Framework-based security measures for Internet of Thing: A literature review" Open Computer Science, vol. 11, no. 1, 2021, pp. 346-354. <https://doi.org/10.1515/comp-2020-0220>
- [11] O. Kovalenko and T. Kovalenko, "Knowledge Model and Ontology for Security Services," 2018 IEEE First International Conference on System Analysis & Intelligent Computing (SAIC), Kyiv, Ukraine, 2018, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/SAIC.2018.8516875>.
- [12] B. A. Mozzaquatro, R. Melo, C. Agostinho and R. Jardim-Goncalves, "An ontology-based security framework for decision-making in industrial systems," 2016 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development (MODELSWARD), Rome, Italy, 2016, pp. 779-788.
- [13] A. Souag, C. Salinesi, R. Mazo and I. Comyn-Wattiau, A Security Ontology for Security Requirements Elicitation, in: F. Piessens, J. Caballero, N. Bielova (Eds.), Engineering Secure Software and Systems (ESSoS 2015), volume 8978 of Lecture Notes in Computer Science, Springer, Cham, 2015, pp. 157–177. https://doi.org/10.1007/978-3-319-15618-7_13.
- [14] S. Zhang, G. Bai, H. Li, P. Liu, M. Zhang and S. Li, "Multi-Source Knowledge Reasoning for Data-Driven IoT Security", Sensors, vol. 21, 2021, 7579. <https://doi.org/10.3390/s21227579>.

Аналіз методів підвищення захищеності пінггових мереж

Михайло Кренцін
кафедра захисту інформації
Вінницький національний
технічний університет
Вінниця, Україна
mishatron98@gmail.com

Леонід Куперштейн
кафедра захисту інформації
Вінницький національний
технічний університет
Вінниця, Україна
kupershtein.lm@gmail.com

Вадим Малиновський
кафедра захисту інформації
Вінницький національний
технічний університет
Вінниця, Україна
vad.malinovsky@gmail.com

Analysis of methods for improving the security of peer-to-peer networks

Mykhailo Krentsin
dept. of Cybersecurity
Vinnytsia national technical
university
Vinnytsia, Ukraine
mishatron98@gmail.com

Leonid Kupershtein
dept. of Cybersecurity
Vinnytsia national technical
university
Vinnytsia, Ukraine
kupershtein.lm@gmail.com

Vadym Malynovskii
dept. of Cybersecurity
Vinnytsia national technical
university
Vinnytsia, Ukraine
vad.malinovsky@gmail.com

Анотація—Розглянуто питання підвищення захищеності пінггових мереж, що є популярним засобом обміну даними та ресурсами між пристроями без центрального сервера. Визначено актуальність теми, та її вплив на цілісність, доступність та конфіденційність даних. Проаналізовано основні методи, які дозволяють підвищити захищеність пінггової мережі. Визначено, що основними аспектами захисту є: налаштування безпеки мережі, виявлення та запобігання шкідливих вузлів, перевірка файлів, використання фаєрвола, оновлення програмного забезпечення, контроль доступу, моніторинг та журналювання, користувацька освіта. Також визначено, що застосування цих методів та їх комбінацій сприятиме забезпеченню надійності та захищеності мережі та даних, якими вона оперує.

Abstract—The issue of improving the security of peer-to-peer networks, which is a popular way of exchanging data and resources between devices without a central server, is considered. The relevance of the topic and its impact on the integrity, availability and confidentiality of data have been determined. The main methods that allow to increase the security of the peering network have been analyzed. It has been determined that the main aspects of protection are: network security settings (including of secure communication protocols and configuration of devices to restrict network access), detection and prevention of malicious nodes (by using authentication mechanisms, reputation systems

and node filtering), file inspection (which includes the use of anti-virus software and file integrity monitoring), use of firewall, encryption on different layers, software updates, access control (roles and access policies), monitoring and logging, user education. It is also determined that the application of these methods and their combinations will contribute to ensuring the reliability and security of the network and the data it operates on.

Ключові слова—пінггова мережа; аутентифікація; шифрування; хеш-функції; фаєрвол; DDoS-атака; TLS; SSL

Keywords—peering network; authentication; encryption; hash functions; firewall; DDoS attack; TLS; SSL

I. ВСТУП

У сучасному світі пінггові мережі стали широко використовуваним засобом обміну даними та ресурсами між різними комп'ютерами без потреби централізованого сервера [1]. Це приводить до збільшення ефективності, скорочення витрат і поліпшення доступності ресурсів. Однак, разом з усіма цими перевагами, пінггові мережі також постають перед викликами безпеки і захисту [2].

Захищеність пінггових мереж є критично важливим аспектом, оскільки вони стикаються зі значними ризиками кібератак, шкідливого програмного забезпечення, втрати конфіденційної інформації та порушенням приватності.

Щоб ефективно захистити пірингову мережу, необхідно приділити увагу аспектам безпеки, що вимагають комплексного підходу, поєднуючи технічні заходи, які гарантують конфіденційність, цілісність та доступність даних, з урахуванням навичок та свідомої поведінки користувачів [3]. Саме тому актуальним є аналіз методів підвищення захищеності пірингових мереж.

II. АНАЛІЗ МЕТОДІВ

Пірингові мережі (peer-to-peer networks) є розподіленими системами, які залежать від співпраці і взаємодії між учасниками. Оскільки такі мережі мають відкриту структуру і можуть бути піддатливими до атак, важливо вживати заходів для підвищення їх захищеності.

Основними методами, що спрямовані на підвищення захищеності мережі є такі:

1. Шифрування комунікації. Використання шифрування для захисту передачі даних між вузлами мережі. TLS (Transport Layer Security) або SSL (Secure Sockets Layer) можуть бути використані для захищеної комунікації. Для шифрування комунікації в пірингових мережах можна використовувати як симетричне, так і асиметричне шифрування. Симетричне шифрування використовує один і той же ключ для шифрування і розшифрування даних, тоді як асиметричне шифрування використовує пару ключів: приватний ключ для розшифрування і підпису, та публічний ключ для шифрування та перевірки підпису [4].

2. Аутентифікація. Необхідно здійснювати аутентифікацію для входу до мережі та доступу до ресурсів. Основна мета аутентифікації полягає в тому, щоб переконатися, що тільки справжні і вповноважені користувачі можуть отримати доступ до мережі і взаємодіяти з нею. Слід використовувати такі механізми, як цифрові підписи або сертифікати, для перевірки ідентичності учасників мережі [5]. При реалізації аутентифікації в пірингових мережах слід враховувати такі аспекти:

а. Криптографічні методи. Слід використовувати криптографічні методи для захисту аутентифікаційних даних і забезпечення безпеки комунікації. Цифрові підписи та сертифікати можуть бути використані для перевірки ідентичності інших учасників мережі.

б. Управління ключами. Слід ретельно керувати ключами шифрування та підписів, які використовуються для аутентифікації. Для генерації, зберігання і обміну ключами необхідно використовувати безпечні методи, такі як протоколи обміну ключами на основі Діффі-Хеллмана або RSA.

3. Перевірка файлів. Необхідно встановити механізми перевірки цілісності файлів, щоб переконатися, що завантажені файли не були модифіковані або пошкоджені. Хеш-функції, такі як SHA-256, можуть бути використані для генерації контрольних сум [4]. При отриманні файлу із мережі, ви можете порівняти хеш-значення отриманого файлу зі збереженим значенням хешу, щоб переконатися, що файл не був змінений під час

передачі. Також можна використовувати систему репутації файлів для оцінки надійності та безпеки файлів, які отримуються від іншого вузла.

4. Виявлення та запобігання шкідливих вузлів. Необхідно розробити систему виявлення та блокування шкідливих вузлів. Для цього слід використовувати фільтри, евристики або системи рейтингу, щоб ідентифікувати та відокремлювати вузли, які спробують впровадити шкідливі дані. Важливо вести моніторинг та відстежувати активність вузлів у піринговій мережі. Це може включати реєстрацію змін у стані вузлів, перевірку виконання певних дій та виявлення незвичайних або підозрілих активностей. Шляхом аналізу цих даних можна виявити потенційно шкідливу діяльність та прийняти відповідні заходи. Створення білих та чорних списків дозволяє контролювати доступ до пірингової мережі [5]. Білий список містить довірені вузли, які мають повний доступ до ресурсів мережі, тоді як чорний список містить вузли, які були ідентифіковані як шкідливі.

5. Використання фаєрвола. Фаєрвол аналізує вхідний і вихідний трафік у піринговій мережі та фільтрує його відповідно до заданих правил. Правила можуть включати блокування або дозвіл на певні типи з'єднань, порти, IP-адреси, протоколи тощо. Це дозволяє контролювати, який трафік може проникати до мережі та який може виходити з неї. Фаєрвол може захищати пірингову мережу від різних типів атак, включаючи DDoS-атаки, перехоплення пакетів, спам, сканування портів тощо [6]. Він може використовувати різні методи для виявлення та блокування таких атак, такі як інтелектуальні аналізатори пакетів, сигнатури відомих атак, синхронізація розрахунків навантаження тощо [7,8]. Мережа може мати як внутрішній, так і зовнішній фаєрвол. Внутрішній фаєрвол розташовується між різними сегментами мережі, контролюючи трафік між ними. Зовнішній фаєрвол розташовується між мережею і зовнішнім середовищем, фільтруючи трафік, що надходить ззовні.

6. Оновлення програмного забезпечення. Слід регулярно оновлювати програмне забезпечення вузлів мережі, включаючи операційну систему, піринговий клієнт та інші компоненти [9]. Розробники програмного забезпечення випускають патчі безпеки для усунення виявлених вразливостей у програмах та операційних системах. Регулярне оновлення програмного забезпечення дозволяє встановлювати ці патчі безпеки та зменшує ризик використання вразливостей зловмисниками. Важливо виконувати оновлення якомога швидше після їх випуску. Оновлення операційної системи має велике значення для забезпечення безпеки пірингових мереж. Виробники систем, такі як Microsoft, Apple або Linux, регулярно випускають оновлення операційних систем з усуненням вразливостей, покращенням безпеки та виправленням помилок. Важливо встановлювати ці оновлення, оскільки вони можуть містити критичні патчі безпеки.

7. Контроль доступу. Важливим є встановлення обмеження доступу до ресурсів і функцій мережі на основі ролей та привілеїв. Кожен учасник мережі повинен мати доступ лише для певних даних, тобто не повинен мати

довільний доступ до даних чужих вузлів. Один з широко використовуваних підходів до контролю доступу - це ролева базова модель доступу (RBAC) [10]. За допомогою RBAC визначаються різні ролі користувачів або вузлів і надаються відповідні права доступу до ресурсів. Це дозволяє контролювати, які дії можуть виконувати користувачі або вузли залежно від їх ролі в системі. Встановлення правил та політик доступу є важливим аспектом контролю доступу. Це можуть бути правила, що обмежують доступ до певних ресурсів, контролюють перехід між різними сегментами мережі, обмежують можливість здійснення певних операцій тощо. Політики доступу допомагають визначити, хто, коли і як має доступ до ресурсів мережі.

8. Моніторинг та журналювання. Для того, щоб виявляти незвичайну активність, атаки або порушення безпеки слід використовувати журналювання системи (запис активності вузла для подальшого аналізу). Журнали створюються для всіх компонентів мережі, включаючи мережеві пристрої, сервери, вузли тощо [10]. Це надає можливість аналізувати події в разі виникнення проблем або інцидентів безпеки. Аналіз журналів та мережевих подій дозволяє виявити вразливості, атаки або незвичайну активність в мережі. Він включає аналіз журналів подій, виявлення шаблонів атак, використання аналітичних інструментів для виявлення аномальної активності. Аналіз підтримує виявлення загроз та реагування на них в реальному часі.

9. Користувацька освіта. Людська помилка є однією з поширених проблем безпеки. Необхідно зосередити увагу на освіті користувачів мережі про загрози безпеці та найкращі практики (захист паролів, усвідомлення ризиків і уникнення підозрілих дій). Освічені користувачі мають більшу свідомість про потенційні загрози та можуть приймати обізнані рішення для забезпечення безпеки. Засобами захисту є використання антивірусного програмного забезпечення, брандмауера, оновлення програмного забезпечення тощо. Користувачі повинні знати, як правильно налаштувати та використовувати ці засоби для забезпечення своєї безпеки [3].

Таким чином, було проаналізовано основні методи підвищення захищеності пірингових мереж. Окрім використання різних алгоритмів шифрування та аналізу даних, слід приділяти увагу програмному забезпеченню, мережевим пристроям та користувацькій освіті.

III. ВИСНОВКИ

Проаналізовано важливість забезпечення захищеності пірингових мереж у сучасному світі, де обмін даними та ресурсами між комп'ютерами відбувається без потреби централізованого сервера. Враховуючи загрози кібербезпеки, які існують у таких мережах, необхідно вживати заходів для підвищення їх захищеності.

Проаналізовано ряд методів для підвищення захищеності децентралізованих мереж. Ці пункти включають налаштування безпеки мережі, виявлення та запобігання шкідливих вузлів, перевірку файлів, використання фаєрвола, оновлення програмного забезпечення, контроль доступу, моніторинг та журналювання, а також користувацьку освіту. Комбінування цих заходів дозволить забезпечити надійний рівень захисту пірингових мереж від різних кіберзагроз. Забезпечення безпеки пірингових мереж не є завданням лише технічних фахівців, але й відповідальністю кожного користувача. Правильна освіта та свідоме поведінка грають важливу роль у створенні безпечного середовища.

Отже, застосування цих методів сприятиме створенню надійної та захищеної пірингової мережі, де конфіденційність, цілісність та доступність даних будуть забезпечені на високому рівні.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Л.М. Куперштейн, М.Д. Кренцін, "Аналіз тенденцій розвитку пірингових мереж", Вісник Хмельницького національного університету, вип 4. с.25-29, 2021
- [2] Л. Куперштейн, М. Кренцін, А. Дудатьєв, і В. Каплун, "Аналіз проблем безпеки пірингових мереж", ІТКІ, вип. 54, вип. 2, с. 5-14, Чер 2022.
- [3] Pravin Wararkar, Naman Kapil, Vyom Rehani, Yash Mehra, Yashi Bhatnagar, "Resolving problems based on peer-to-peer network security issues", International conference on information security & privacy, Dec 2015.
- [4] Security in a P2P App [Online]. Available: <https://woxapp.com/our-blog/security-in-a-p2p-app-peer-to-peer-the-main-issues-you-should-be-aware-of/A.Izmailov>, "IEEE article template," in *Information Technologies and Computer Modelling: International Scientific and Practical Conference ITCM-2017: Precarpath. Nation. Univ., Ivano-Frankivsk*, 2017, in press.
- [5] What are the common security risks and challenges of using a peer-to-peer security pattern [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/advice/0/what-common-security-risks-challenges-1f>.
- [6] Security Considerations for Peer-to-Peer Networks [Online]: Available: <https://medium.com/@randika111222/security-considerations-for-peer-to-peer-networks-d9d160643ba4>.
- [7] O. Voitovych, Y. Baryshev, E. Kolibabchuk and L. Kupershtein, "Investigation of simple Denial-of-Service attacks", 2016 Third International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T), Kharkiv, Ukraine, 2016, pp. 145-148, doi: 10.1109/INFOCOMMST.2016.7905362.
- [8] L. M. Kupershtein та ін., "DDoS-attack detection using artificial neural networks in Matlab", у Photon. Appl. Astronomy, Communications, Industry, High-Energy Phys. Experiments 2019, R. S. Romaniuk та M. Linczuk, Ред. Wilga, Poland, 25 may.–2 june. 2019. SPIE, 2019. Дата звернення: 29 трав. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1117/12.2536478>.
- [9] Peer To Peer Network Security [Online]. Available: http://wiki.cas.mcmaster.ca/index.php/Peer_To_Peer_Network_Security
- [10] Washbourne, Logan, "A Survey of P2P Network Security", 2015. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1504.01358>.

Особливості реалізації багаторозрядної операції множення на основі теоретико-числових перетворень Ферма та Мерсенна у паралельній моделі обчислень

Андрій Терещенко

докторантура
інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
e-mail: teramidi@ukr.net

Валерій Задірака

відділ оптимізації обчислень
інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
e-mail: zvk140@ukr.net

Peculiarities of implementation a multi-bit multiplication based on Fermat and Mersenne transforms in the parallel computational model

Andrii Tereshchenko

dept. of doctoral studies
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS
Kyiv, Ukraine
e-mail: teramidi@ukr.net

Valerii Zadiraka

dept. of numerical methods of optimization
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS
Kyiv, Ukraine
e-mail: zvk@ukr.net

Анотація—у роботі розглянуто алгоритм реалізації операції множення з використанням перетворення Ферма. Проаналізовано алгоритм за кількістю операцій множення та проаналізовані обмеження його використання. Для більших чисел показано, що ефективніше використовувати алгоритми на основі дискретного перетворення Мерсенна. Для алгоритму у базисі Ферма запропоновано швидкий метод обчислення оберненого елемента. На прикладі показано обчислення багаторозрядного множення у базисі Ферма. Розглянуті особливості алгоритмів реалізації багаторозрядного множення у базисах Ферма та Мерсенна (*Abstract*)

Abstract—The work considers the algorithm for the implementation of multiplication using Fermat transform. The algorithm was analyzed by the number of multiplications and the limitations of its use were analyzed. For big numbers, it is shown that it is more efficient to use algorithms based on the Mersenne transform. For the algorithm in the Fermat basis, a fast method for calculating the inverse element is proposed. The example shows the multiplication calculation in the Fermat basis. The peculiarities of algorithms for implementing multiplication in the Fermat and Mersenne bases are considered. (*Abstract*)

Ключові слова—багаторозрядна арифметика, знак переносу, багаторозрядне множення, теоретико-числове перетворення

Ферма, теоретико-числове перетворення Мерсенна, паралельна модель обчислень (key words)

Keywords—multidigit arithmetic, carry sign, multidigit multiplication, Fermat transform, Mersenne transform, parallel computational model (key words)

I. ВСТУП

Теоретико-числові перетворення широко використовуються для обробки цифрової інформації та для реалізації багаторозрядної арифметики. Однією з найбільших галузей, у якій використовуються дискретні перетворення такі, як дискретне перетворення Фур'є (ДПФ), є фільтрація цифрових зображень. Обробка цифрових зображень з використанням перетворень є одним з найефективніших методів за кількістю операцій. Алгоритми багаторозрядної арифметики використовуються для реалізації швидких криптографічних перетворень. У разі появи нових пристроїв з новими можливостями розпаралелення обчислень відбувається аналіз існуючих методів на основі дискретних перетворень з метою отримання нових оцінок ефективності. Особливий інтерес зберігається до перетворень Ферма та Мерсенна, обчислення яких відбуваються у полі цілих чисел, що значно спрощує обчислення у порівнянні з

методами на основі ДПФ, обчислення якого відбувається у полі комплексних чисел.

У роботах [1–8] показано використання перетворення Ферма для швидких обчислень згорток. У даній роботі надано використання перетворення Ферма для реалізації операції множення та розглянуті особливості реалізації такої операції.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ПОЗНАЧЕННЯ

Розглянемо обчислення $R_{2N} = U_N \cdot V_N$, де U_N, V_N – N -розрядні цілі додатні числа, а R_{2N} – $2N$ -розрядне число. Такі числа можна представити у вигляді: $U_N = (u_{N-1}u_{N-2}\dots u_0) = \sum_{i=0}^{N-1} u_i 2^{\omega i}$, $V_N = (v_{N-1}v_{N-2}\dots v_0) = \sum_{i=0}^{N-1} v_i 2^{\omega i}$, $R_{2N} = \sum_{i=0}^{2N-1} r_i 2^{\omega i} = (r_{2N-1}r_{2N-2}\dots r_0)$, де ω – довжина машинного слова у бітах (далі будемо вважати $\omega = 16, 32, 64, 128$ і т. д. бітів), $0 \leq u_i, v_i, r_i < 2^\omega$.

Необхідно розробити алгоритм реалізації операції множення двох N -розрядних чисел, який використовує дискретні ортогональні перетворення, використовує операції з цілими числами та дозволяє високій рівень розпаралелювання за рахунок модулярних операцій. Провести аналіз алгоритму для дослідження обмежень його використання.

III. АЛГОРИТМ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЇ БАГАТОРОЗРЯДНОГО МНОЖЕННЯ У БАЗИСІ ФЕРМА

Аналогічно реалізації операції багаторозрядного множення на основі дискретного перетворення Фур'є можна побудувати алгоритм множення на основі цілочисельного перетворення Ферма.

В Алгоритмі 1 всі обчислення відбуваються у арифметиці за модулем $M = F_n = 2^{2^n} + 1$, $2 \leq n \leq 4$. Перед початком Алгоритму 1 багатобітні числа розбивається на розряди, довжиною 2^{n-2} бітів. Якщо кількість бітів не є кратною до n , то додаються старші нульові біти.

Алгоритм 1. Множення багаторозрядних чисел у базисі Ферма.

Параметри: X_N, Y_N – вектори довжиною у N цілих чисел, кожен з яких у діапазоні від 0 до $2^B - 1$, $B = 2^{n-2}$, $N = 2^n$, $M = 2^{4B} + 1$, $2 \leq n \leq 4$; Q – елемент, обернений до $2N$, такий, що $\langle Q \cdot 2N \rangle_M = 1$.

Результат: $R_{2N} = X_N \cdot Y_N$, кожен елемент якого у діапазоні від 0 до $2^B - 1$.

Крок 1. Збільшення довжини векторів з N до $2N$ елементів з додаванням старших нулів:

$$X_{2N}(r) \leftarrow X_N(r), Y_{2N}(r) \leftarrow Y_N(r), r = \overline{0, N-1}.$$

$$X_{2N}(N+r) \leftarrow Y_{2N}(N+r) \leftarrow 0, r = \overline{0, N-1}.$$

Крок 2. Обчислення перетворень Ферма $\hat{X}_{2N}, \hat{Y}_{2N}$:

$$\hat{X}_{2N} \leftarrow \langle F_{2N,2N} \cdot X_{2N} \rangle_M, \hat{Y}_{2N} \leftarrow \langle F_{2N,2N} \cdot Y_{2N} \rangle_M,$$

де $F_{2N}^{(r,k)} = 2^{\langle 2N-r \cdot k \rangle_{2N}}$, $r = \overline{0, 2N-1}$, $k = \overline{0, 2N-1}$, елементи матриці $F_{2N,2N}$, $\langle F_{2N,2N} \rangle_M = 1$; $\langle F_{2N,2N} \cdot X_{2N} \rangle_M$, $\langle F_{2N,2N} \cdot Y_{2N} \rangle_M$ позначають, що операції множення та додавання

обчислюються за модулем M .

Крок 3. Поелементе перемноження векторів $\hat{X}_{2N}, \hat{Y}_{2N}$ за модулем M :

$$\hat{T}_{2N}(r) \leftarrow \langle \hat{X}_{2N}(r) \cdot \hat{Y}_{2N}(r) \rangle_M, r = \overline{0, 2N-1}.$$

Крок 4. Обчислення оберненого дискретного перетворення Ферма T_{2N} :

$$R_{2N} \leftarrow T_{2N} \leftarrow \left\langle \frac{1}{2N} \cdot IF_{2N,2N} \cdot \hat{T}_{2N} \right\rangle_M = \langle Q \cdot IF_{2N,2N} \cdot \hat{T}_{2N} \rangle_M,$$

де $IF_{2N}^{(r,k)} = 2^{\langle 2N-r \cdot k \rangle_{2N}}$, $r = \overline{0, 2N-1}$, $k = \overline{0, 2N-1}$, елементи матриці $IF_{2N,2N}$, $\langle IF_{2N,2N} \rangle_M = 1$; $\langle IF_{2N,2N} \cdot X_{2N} \rangle_M$, $\langle IF_{2N,2N} \cdot Y_{2N} \rangle_M$ позначають, що операції множення та додавання обчислюються за модулем M .

Крок 5. Обчислення результату R_{2N} , де кожен елемент менше ніж 2^B :

$$R_{2N}(r+1) \leftarrow R_{2N}(r+1) + (R_{2N}(r) - \langle R_{2N}(r) \rangle_{2^B}) / 2^B, \\ R_{2N}(r) \leftarrow \langle R_{2N}(r) \rangle_{2^B}, r = \overline{0, 2N-2}.$$

IV. ПРИКЛАД ОБЧИСЛЕННЯ МНОЖЕННЯ ДВОХ ЧИСЕЛ У БАЗИСІ ФЕРМА

Розглянемо на прикладі множення чисел 65535 [9]. Для спрощення множимо однакові числа. Число 65535₁₀ у шістнадцятковій системі числення буде FFFF₁₆ та займає 16 бітів у пам'яті комп'ютера. Використаємо модуль $M = F_n = 2^{2^n} + 1 = 257$ для $n = 3$, тоді $B = 2^{n-2} = 2$, $N = 2^n = 8$, $M = 2^{4B} + 1 = 257$, $Q = 241$. Довжина матриці дискретного перетворення Ферма $F_{16,16}$ буде $16 = 2N$. Елементи $F_{16}^{(r,k)} = 2^{\langle r \cdot k \rangle_{16}}$, $r = \overline{0, 15}$, $k = \overline{0, 15}$, утворюють матрицю $F_{16,16}$.

Отримаємо у 2-ковій системі числення

$$FFFF_{16} = 1111\ 1111\ 1111\ 1111_2.$$

Тоді число 65535₁₀ розбивається на розряди довжиною по $B = 2$ бітів:

$$(11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2) = \\ = (3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}).$$

Після додавання старших нулів на 1-му кроці отримуємо вектори:

$$X_{16} = Y_{16} = (3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0).$$

На 2-му кроці після множення векторів X_{16}, Y_{16} на матрицю $F_{16,16}$ (див. рис. 1):

$$\hat{Y}_{16} = \hat{X}_{16} = \langle F_{16,16} \cdot X_{16} \rangle_{257} = \\ = (24, 251, 0, 146, 0, 91, 0, 4, 0, 2, 0, 172, 0, 117, 0, 12).$$

На 3-му кроці результат поелементного множення за модулем $M=257$:

$$\hat{T}_{16} = \hat{X}_{16} \cdot \hat{Y}_{16} = \\ = (62, 36, 0, 242, 0, 57, 0, 16, 0, 4, 0, 29, 0, 68, 0, 144).$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 32 & 64 & 128 & 256 & 255 & 253 & 249 & 241 & 225 & 193 & 129 \\ 1 & 4 & 16 & 64 & 256 & 253 & 241 & 193 & 1 & 4 & 16 & 64 & 256 & 253 & 241 & 193 \\ 1 & 8 & 64 & 255 & 241 & 129 & 4 & 32 & 256 & 249 & 193 & 2 & 16 & 128 & 253 & 225 \\ 1 & 16 & 256 & 241 & 1 & 16 & 256 & 241 & 1 & 16 & 256 & 241 & 1 & 16 & 256 & 241 \\ 1 & 32 & 253 & 129 & 16 & 255 & 193 & 8 & 256 & 225 & 4 & 128 & 241 & 2 & 64 & 249 \\ 1 & 64 & 241 & 4 & 256 & 193 & 16 & 253 & 1 & 64 & 241 & 4 & 256 & 193 & 16 & 253 \\ 1 & 128 & 193 & 32 & 241 & 8 & 253 & 2 & 256 & 129 & 64 & 225 & 16 & 249 & 4 & 255 \\ 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 \\ 1 & 255 & 4 & 249 & 16 & 225 & 64 & 129 & 256 & 2 & 253 & 8 & 241 & 32 & 193 & 128 \\ 1 & 253 & 16 & 193 & 256 & 4 & 241 & 64 & 1 & 253 & 16 & 193 & 256 & 4 & 241 & 64 \\ 1 & 249 & 64 & 2 & 241 & 128 & 4 & 225 & 256 & 8 & 193 & 255 & 16 & 129 & 253 & 32 \\ 1 & 241 & 256 & 16 & 1 & 241 & 256 & 16 & 1 & 241 & 256 & 16 & 1 & 241 & 256 & 16 \\ 1 & 225 & 253 & 128 & 16 & 2 & 193 & 249 & 256 & 32 & 4 & 129 & 241 & 255 & 64 & 8 \\ 1 & 193 & 241 & 253 & 256 & 64 & 16 & 4 & 1 & 193 & 241 & 253 & 256 & 64 & 16 & 4 \\ 1 & 129 & 193 & 225 & 241 & 249 & 253 & 255 & 256 & 128 & 64 & 32 & 16 & 8 & 4 & 2 \end{pmatrix}$$

Рис. 1. Матриця дискретного перетворення Ферма $F_{16,16}$

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 129 & 193 & 225 & 241 & 249 & 253 & 255 & 256 & 128 & 64 & 32 & 16 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 193 & 241 & 253 & 256 & 64 & 16 & 4 & 1 & 193 & 241 & 253 & 256 & 64 & 16 & 4 \\ 1 & 225 & 253 & 128 & 16 & 2 & 193 & 249 & 256 & 32 & 4 & 129 & 241 & 255 & 64 & 8 \\ 1 & 241 & 256 & 16 & 1 & 241 & 256 & 16 & 1 & 241 & 256 & 16 & 1 & 241 & 256 & 16 \\ 1 & 249 & 64 & 2 & 241 & 128 & 4 & 225 & 256 & 8 & 193 & 255 & 16 & 129 & 253 & 32 \\ 1 & 253 & 16 & 193 & 256 & 4 & 241 & 64 & 1 & 253 & 16 & 193 & 256 & 4 & 241 & 64 \\ 1 & 255 & 4 & 249 & 16 & 225 & 64 & 129 & 256 & 2 & 253 & 8 & 241 & 32 & 193 & 128 \\ 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 & 1 & 256 \\ 1 & 128 & 193 & 32 & 241 & 8 & 253 & 2 & 256 & 129 & 64 & 225 & 16 & 249 & 4 & 255 \\ 1 & 64 & 241 & 4 & 256 & 193 & 16 & 253 & 1 & 64 & 241 & 4 & 256 & 193 & 16 & 253 \\ 1 & 32 & 253 & 129 & 16 & 255 & 193 & 8 & 256 & 225 & 4 & 128 & 241 & 2 & 64 & 249 \\ 1 & 16 & 256 & 241 & 1 & 16 & 256 & 241 & 1 & 16 & 256 & 241 & 1 & 16 & 256 & 241 \\ 1 & 8 & 64 & 255 & 241 & 129 & 4 & 32 & 256 & 249 & 193 & 2 & 16 & 128 & 253 & 225 \\ 1 & 4 & 16 & 64 & 256 & 253 & 241 & 193 & 1 & 4 & 16 & 64 & 256 & 253 & 241 & 193 \\ 1 & 2 & 4 & 8 & 16 & 32 & 64 & 128 & 256 & 255 & 253 & 249 & 241 & 225 & 193 & 129 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Матриця оберненого дискретного перетворення Ферма $IF_{16,16}$

На 4-му кроці отримуємо результат оберненого перетворення Ферма (див. рис. 2):

$$R_{16} = \langle 241 \cdot IF_{16,16} \cdot \hat{T}_{16} \rangle_{257} = (9,18,27,36,45,54,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

На 5-му кроці відбувається нормалізація результату таким чином, щоб кожен елемент займав не більше $B = 2$ бітів, використовуючи вирази:

$$R_{16}(r+1) \leftarrow R_{16}(r+1) + \frac{1}{4}(R_{16}(r) - \langle R_{16}(r) \rangle_4),$$

$$R_{16}(r) \leftarrow \langle R_{16}(r) \rangle_4, r = \overline{0, 14}.$$

$$R_{16} = (9,18,27,36,45,54,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 0,$$

$$R_{16} = (1,20,27,36,45,54,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 1,$$

$$R_{16} = (1,0,32,36,45,54,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 2, R_{16} = (1,0,0,44,45,54,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 3, R_{16} = (1,0,0,0,56,54,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 4, R_{16} = (1,0,0,0,0,68,63,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 5, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,80,72,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 6, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,92,63,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 7, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,86,54,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 8, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,75,45,36,27,18,9,0).$$

$$r = 9, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,63,36,27,18,9,0).$$

$$r = 10, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,3,51,27,18,9,0).$$

$$r = 11, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,3,3,3,27,9,0).$$

$$r = 12, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,3,3,3,3,15,0).$$

$$r = 13, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,3,3,3,3,3,3).$$

$$r = 14, R_{16} = (1,0,0,0,0,0,0,0,2,3,3,3,3,3,3,3).$$

У 2-ковій системі обчислення відповідає вектору:

$$(1_{10}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}, 3_{10}) = (1_2, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 10_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2, 11_2).$$

Враховуючи, що наймолодший розряд вектору є зліва, поєднаємо всі розряди у послідовність бітів та отримаємо результат у шістнадцятковій системі:

$$FFFE0001_{16} = 4\ 294\ 836\ 225_{10}.$$

V. ОБЧИСЛЕННЯ ОБЕРНЕНОГО ЕЛЕМЕНТА ДЛЯ АЛГОРИТМІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЇ МНОЖЕННЯ У БАЗИСІ ФЕРМА

У Алгоритмі 1 всі обчислення виконуються за модулем F_n і операція ділення на $2N$ на кроці 4 замінюється операцією множення на обернений елемент Q . Обчислення оберненого елемента зазвичай розглядається як окрема задача. Складність обчислення оберненого елемента дорівнює $M = F_n = 2^{2^n} + 1$ або необхідно перебрати всі елементи, для того, щоб знайти елемент, який задовольняє вимогам $\langle Q \cdot 2N \rangle_M = 1$. У вигляді Лема 1 надано метод швидкого обчислення оберненого елемента до числа $2N$ за модулем $M = F_n, n \leq 4$.

Лема 1. Обернений елемент Q до числа $2N = 2 \cdot 2^n$ за модулем $M = F_n = 2^{2^n} + 1$, де $\langle Q \cdot 2N \rangle_M = 1, n \leq 4$, може бути розрахований за виразом:

$$Q = (2^{n+1} - 1) \cdot 2^{2^n - (n+1)} + 1.$$

Доведення. У модулярній арифметиці за модулем простого числа $M = F_n$, якщо ми візьмемо будь-яке число менше модуля і почнемо додавати, наприклад, одне й те саме число більше нуля, то за M кроків ми отримаємо всі числа. Візьмемо за початкове число $2N = 2^{n+1}$ і почнемо його додавати. Для того, щоб наступне число перевищило $M = 2^{2^n} + 1$ необхідно виконати $2^{2^n} / 2N = 2^{2^n - (n+1)}$ додавань числа $2N$ до числа $2N = 2^{n+1}$. З врахуванням того, що $M - 1 = 2^{2^n}$, результатом $2^{2^n - (n+1)}$ додавань за модулем M отримуємо число $2N - 1 = 2^{n+1} - 1$. Після наступних $2^{2^n - (n+1)}$ додавань за модулем M отримуємо число $2N - 2$. Продовжуючи, до того моменту, щоб отримати одиницю необхідно виконати $(2N - 1) \cdot 2^{2^n - (n+1)}$ додавань. Замінюючи $2N$ на 2^{n+1} та, враховуючи те, що перше число було $2N$, отримуємо необхідний вираз. Лема доведена.

ТАБЛИЦЯ 1. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОБЕРНЕНИХ ЧИСЕЛ ВІД $F_n, 1 \leq n \leq 4$

Модуль, F_n	Значення модуля, $M = F_n = 2^{2^n} + 1$	Обернене число, $Q = (2^{n+1} - 1) \cdot 2^{2^n - (n+1)} + 1$
F_1	5	4
F_2	17	15
F_3	257	241
F_4	65,537	63,489

VI. АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ МНОЖЕННЯ ДВОХ ЧИСЕЛ У БАЗИСІ ФЕРМА ТА МЕРСЕННА

У прикладі обчислення операції множення двох чисел довжиною 16 бітів, які розбиваються на 8 розрядів по 2 бітів у кожному, використовується перетворення Ферма довжиною у 16 елементів. Розглянемо перетворення Ферма різних довжин у табл. 2.

ТАБЛИЦЯ 2. ЗАЛЕЖНІСТЬ КІЛЬКОСТІ 2^n -БІТНИХ МНОЖЕНЬ ВІД F_n В АЛГОРИТМІ 1

F_n	Значення модуля, $2^{2^n} + 1$	Довжина перетворення Ферма, $2N$	Довжина розряду числа у бітах, $B = 2^{n-2}$	Довжина множника у бітах, $N \cdot B$	Кількість (та розрядність) 2^n – бітних операцій множення*, $2 \leq n \leq 4$
F_2	17	8	1	4	8(4)
F_3	256	16	2	16	16(8)
F_4	65,537	32	4	64	32(16)

Примітка *. Можливе число 2^{2^n} за модулем $F_n = 2^{2^n} + 1$, для зберігання якого у пам'яті комп'ютера необхідно $2^n + 1$ бітів, всі розряди якого дорівнюють нулю окрім найстаршого бітового розряду. Операцію множення на число 2^{2^n} можна замінити операцією зсуву на 2^n бітів або переносом у старше слово, так як 2^{2^n} бітів можуть складати машинне слово. Тому вважаємо, що операція множення на число 2^{2^n} не збільшує кількість 2^n -бітних операцій множення.

Аналізуючи табл. 2 можна побачити, що кількість 2^n -бітних операцій множення є 2^{n+1} для $F_n, 2 \leq n \leq 4$.

ТАБЛИЦЯ 3. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗА КІЛЬКІСТЮ 16-БІТНИХ МНОЖЕНЬ

Метод множення	Довжина числа у 16-бітних словах, N	Складність	Кількість операцій 16-бітного множення
Карацуби	4	$3^{\log_2 N}$	9
У стовпчик	4	N^2	16
В базисі Ферма F_4	$4 = 2^{n-2} (n = 4)$	2^{n+1}	32

У прикладі обчислення операції множення двох чисел довжиною 16 бітів розбиваються на розряди по 2 бітів у кожному. Це пов'язано з тим, що у разі реалізації операції множення виникають переноси у старші розряди, і з використанням модулярних обчислень момент переповнення є невизначеним у тому сенсі, що не можна сказати, яке саме перевищення модуля приводить до переповнення у звичайній арифметиці. Для того, щоб локалізувати переповнення елементів після операцій додавання, множення та оберненого перетворення, довжина значення повинна бути у межах $B = 2^{n-2}$ бітів для F_n та у разі виконання 2^n -бітних операцій додавання, віднімання та множення. Аналіз обмеження за кількістю бітів B , які є довжиною розрядів, на які розбивається багатобітні числа на початку Алгоритму 1, надано у вигляді Лема 2.

Лема 2. Для кожного $F_n, 2 \leq n \leq 4$, у разі розбиття багатобітного числа на розряди, довжина кожного не повинна перевищувати $B = 2^{n-2}$ бітів для локалізації переповнення в елементах результату Алгоритму 1.

Результат отримано емпіричним шляхом і лема надана у більшій мірі для розуміння обмеження за кількістю бітів B .

Якщо збільшувати модуль F_n у Алгоритмі 1, то модуль F_7 дозволяв би множити 4096 бітні числа, використовуючи 256 операцій 128-бітного множення, що майже «наздогнало» би метод Карацуби (243 операції) та «перегнало» би метод множення у стовпчик (1024 операції). На жаль, починаючи з $F_5 = 4294967297 = 641 \cdot$

· 6700417, числа Ферма не є простими числами і не можуть бути використані у Алгоритмі 1. Альтернативою є числа Мерсенна виду $M_n = 2^n - 1$ і Алгоритм 1 може бути адаптований для операцій за модулем M_n . Але ефективність Алгоритму 1 проявляється для дуже великих чисел з довжиною більшою ніж 4096 бітів.

VII. ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ НА ОСНОВІ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ НА ОСНОВІ ПРОСТИХ ЧИСЕЛ ТАКИХ, ЯК ФЕРМА ТА МЕРСЕННА

1. Довжина теоретико-числового перетворення повинна перевищувати у два рази розрядність багатобітного числа, яке розбито на розряди бітів до початку алгоритму. Це обмеження відображає властивості циклічної згортки та того, що результатом множення N -розрядних чисел буде $2N$ -розрядне число. Існують модифікації та оптимізації, які націлені саме на зменшення розрядності перетворення і вони є, скоріше, виключенням.

2. У базисі Ферма довжина розряду у бітах V повинна бути меншою у чотири рази розрядності у бітах модуля F_n для виключення втрати переповнень у старші розряди у модулярних операціях. У базисі Мерсенна довжина розряду у бітах більша ніж у базисі Ферма.

3. Довжина перетворення повинна дорівнювати кількості коренів за модулем F_n . Так, наприклад, не можна використовувати довжину перетворення Ферма F_3 у 15 (або 17) елементів, коли коренів двійки існує рівно 16 за модулем $F_3 = 257$. Для перетворення Мерсенна знаходження коренів є простішим, бо всі корені є степеню двійки. У разі приблизно однакової довжини у бітах модулів у базисі Ферма та Мерсенна довжина перетворення Мерсенна є меншою у два рази за довжину перетворення Ферма.

4. У разі реалізації у паралельній моделі обчислення останній крок 5 Алгоритму 1 потребує окремої реалізації для врахування переносів у старші розряди, що є операціями, які зв'язують наступні кроки з попередніми[10].

Алгоритми в базисі Мерсенна мають свої переваги у порівнянні з іншими методами. Перевагою є те, що всі операції виконуються у модулярній арифметиці за одним модулем. У цьому випадку не має необхідності враховувати знаки переносу, що дозволяє розробляти алгоритми з більшим рівнем розпаралелювання. Аналогічно іншим дискретним перетворенням існують швидкі алгоритми обчислення перетворення Ферма та Мерсенна, у яких операції множення на степінь двійки виконуються шляхом порозрядних зсувів та віднімань, що значно швидше ніж операції множення. Всі обчислення виконуються у полі цілих чисел, які швидші за операції з плаваючою або фіксованою комою, та швидші методів з використанням комплексних операцій таких, як множення на основі ДПФ.

Разом з тим є недоліки. Основним недоліком є те, що ефективність алгоритмів за модулем M_n проявляється у разі реалізації операції множення для великих чисел,

довжина яких перевищують 4096 бітів. Також є необхідність реалізації операцій множення, додавання та віднімання за модулем M_n .

VIII. ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто метод реалізації операції багаторозрядного множення з використанням перетворення Ферма. У роботі надано алгоритм реалізації операції множення у базисі Ферма та надано приклад обчислення. Запропоновано швидкий метод обчислення оберненого числа у базисі Ферма. Проаналізовано алгоритм за кількістю операцій множення. Розглянуто особливості реалізації алгоритмів у базисі Ферма та Мерсенна. Методи мають високий рівень розпаралелювання у порівнянні з іншими методами за рахунок того, що операції виконуються за модулем, що зменшує зв'язність кроків операцій, та операції виконуються швидше, тому що оперують тільки цілими числами. Показано, що методи реалізації операції множення у цих базисах є ефективними у разі реалізації множення чисел, довжина яких перевищує 4096 бітів. Теоретичні результати перевірені за допомогою мови програмування APL.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] R. Agarwal and C. Burrus, Fast Convolution using Fermat number transforms with applications to digital filtering, in IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 22, no. 2, pp. 87-97, April 1974, DOI: 10.1109/TASSP.1974.1162555.
- [2] Pollard J.M. The fast Fourier transform in a finite field. Mathematics of Computation. Volume 25, Issue 114, April 1971, Pages 365-374
- [3] H. Nussbaumer Digital filtering using pseudo Fermat number transforms, in IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 25, no. 1, pp. 79-83, February 1977, DOI: 10.1109/TASSP.1977.1162899.
- [4] H. Nussbaumer Overflow detection in the computation of convolutions by some number theoretic transforms, in IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 26, no. 1, pp. 108-109, February 1978, DOI: 10.1109/TASSP.1978.1163033.
- [5] H. J. Nussbaumer, Digital Filtering Using Complex Mersenne Transforms, in IBM Journal of Research and Development, vol. 20, no. 5, pp. 498-504, Sep. 1976, DOI: 10.1147/rd.205.0498.
- [6] Залирака В.К., Данильченко Л.С., Мелехина Э.А. Сравнительный анализ некоторых теоретико-числовых преобразований вычисления сверток по объему вычислений. Тезисы докл. конф. «Методы и микроселекционные средства цифрового преобразования и обработки сигналов» (ноябрь 1986 г.). – Рига: Ин-т электроники и вычислительной техники АН Латвийской ССР, 1986. – Т.1. – С. 168–171.
- [7] N. Ahmed, K.R. Rao Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing. Springer-Verlag, Berlin (1975).
- [8] J.H. McClellan Hardware realisation of a Fermat number transform, in IEEE Trans. Acoust Speech Signal Process, ASSP-24 (1976), pp. 216-225.
- [9] Tereshchenko A., Zadiraka V. Generating Big Numbers for Testing Multi-Digit Arithmetic Algorithms. Cybernetics and Computer Technologies, 2021, ISSUE 2, P. 39-56.
- [10] Zadiraka, V.K., Tereshchenko, A.M. Calculating the Sum of Multidigit Values in a Parallel Computational Model. Cybern Syst Anal (2022).

Чи потрібна державі підтримка академічної науки у сфері моделювання безпеки

Василь Бегун

Відділ Інтегрованих автоматизованих систем спеціального призначення
Інститут проблем математичних машин та систем НАНУ
Київ, Україна
begunw@ukr.net

Does the Government Require Support in Safety Modeling from Academic Science

Vasilij Begun

Department of Integrated
Automated Systems of Special
Purpose
Institute of Mathematical Machines
and Systems Problems of the
NASU
Kyiv, Ukraine
begunw@ukr.net

Анотація—Розглянуто потреби держави й академічної науки у сфері моделювання безпеки на етапі діджиталізації суспільства. У цьому році бачимо повернення до теми у зв'язку з прийняттям низки законодавчих актів з безпеки, що відповідають нормативним актам Європейського Союзу. Доведено, що потрібно звернутися до наукових надбань галузевих академічних інститутів для успішної реалізації задуманої перебудови державного управління у сфері безпеки.

Ключові слова—інформаційні технології, державне управління, моделювання безпеки, електронне урядування

Abstract—The article investigates the needs of the government and academic science in the field of safety modeling at the stage of society's digitalization. We can see this year the return to the topic due to the adoption of legislation that complies with the requirements of the European Union. The article proves that there is a need to turn to the assistance of sectoral academic institutions and their scientific achievements for the successful implementation of conceived transformations in public administration in the field of safety management.

Keywords—information technology, public administration, safety modelling, e-Government

I. ВСТУП

Світове суспільство вступило у той період свого розвитку, коли розвиток цифрових технологій визначає розвиток держави у цілому. Процеси розвитку

електронного урядування у XXI столітті вважаються настільки важливими, що ООН розробляє регулярні звіти з цього питання, оцінює стан розвитку усіх країн за спеціальними показниками розвитку електронного урядування. Наша держава має високі показники у цих звітах [1]. Дуже багато наукових робіт, наукових конференцій присвячено цьому питанню останнім часом, але так сталося, що головних задач суспільства: військової безпеки та безпеки взагалі, державного управління це майже не торкалося, про що неодноразово йшлося у моїх доповідях [2-5]. Нині у світі добре розвинуті інформаційні технології (ІТ) спрямовані на задоволення потреб повсякденного життя, що, у тому числі, відображено у звіті ООН [1]. Більшість таких цифрових технологій мають аналоги, які успішно працюють в усіх країнах світу, але у випадку технологій призначених для застосування у сфері безпеки для впровадження технологій-аналогів потрібно враховувати особливості національного законодавства. Зокрема, застосування експертних методів у сфері управління безпекою потребує впровадження національної нормативної бази, яка визначає вимоги до компетенцій експертів та процедури отримання статусу експерта.

II. СУТЬ ПРОБЛЕМИ

У наукових працях дослідників країни, дисертаціях та дипломних роботах студентів і аспірантів дуже мало праць не тільки про рішення складних прикладних задач

у цьому напрямі, але майже відсутні роботи щодо їх постановки. Не впроваджені передові світові технології управління безпекою на основі ризик-орієнтованого підходу (РОП) та стандарти Євросоюзу цього напрямку [6]. Державний нагляд за безпекою відбувається до цього часу по-старому, методами інспекційного надзору, як у радянські часи. Дійсно, сам факт відсутності інформаційних технологій у ХХІ ст. у процедурах оцінки ризику (безпеки) призводить до умов відсутності прозорості [2-4], і, як наслідок, до корупції. Тому стаття є актуальною, має стати початком важливих та необхідних змін. Проблема має більше соціальний (політичний) характер [1, 2], й, крім того, наукові публікації за тематикою проблем впровадження технологій управління безпекою на національному рівні зазвичай не містять у своєму змісті формулювань, які б відповідали вимогам Scopus, тому публікація цих не менш важливих за своїм значенням для економіки держави статей не приваблює більшість науковців.

III. ЗМІСТОВНА ЧАСТИНА

Останнім часом пройшли суттєві зміни чинного законодавства, що необхідно для зближення нормативної бази у сфері безпеки та ІТ нашої Держави та Євросоюзу, а саме: прийнято Закону України «Про КІ» [7], зміни щодо невідкладних заходів посилення спроможностей із кіберзахисту державних інформаційних ресурсів та об'єктів критичної інформаційної інфраструктури [8], та Кодексу Цивільного захисту [9]. Впровадження цих законів, Закону України «Про КІ» тощо, ставить багато задач перед науковцями. Багато з них окреслені у текстах цих нових законів, але ще більша їх частина потребують осмислення.

Основні задачі іноді не розуміють навіть розробники, оскільки роблять закони за аналогією вже існуючих європейських. Наприклад, на семінари (форумі) присвяченому Закону України «Про КІ» у виступах звучали тези про те, що при визначенні ризиків та загроз КІ не потрібне визначати ймовірності загроз. Але це суперечить навіть визначенню поняття ризику, як змінної, що характеризується ймовірністю небажаних подій та їх наслідками, хоча автори посилалися на європейський досвід.

Державна служба захисту критичної інфраструктури та забезпечення національної системи стійкості України (ДЗКІ) провела Форум «Безпека критичної інфраструктури та гуманітарна протимінна діяльність» [10], який був присвячений впровадженню Закону України «Про КІ» (1882 ІХ від 16.11.2021), який набрав чинності 15.12.2021, далі ЗУ. Наш інститут прийняв участь з доповіддю: «Проблематика захисту об'єктів критично важливої інфраструктури України з погляду інформаційних технологій». Факти прийняття ЗУ та проведення форуму є позитивною практикою в напрямку зближення законодавства України та Європейського суспільства. Відповідно ЗУ для всіх об'єктів КІ мають бути визначені загрози та ризики, для чого звісно потрібні різні методи моделювання, що не передбачається ДЗКІ. Стверджується, що потрібне визначати наслідки експертними методами й на основі цього знову ж експерти будуть приймати рішення щодо захисту інфраструктури. Як показує світовий досвід, це завжди призводить до зайвих витрат державних коштів. Більш того, це суперечить поточному законодавству у зв'язку зі

змінами Кодексу цивільного захисту України (Кодекс від 02.10.2012 № 5403 VI, поточна редакція від 31.03.2023, підстава 2849 IX) внесено зміни до Кодексу, його доповнено статтею 42, ч.2. «Управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру та пожеж» [9]. Це результат кропіткої довгострокової роботи з ризик-орієнтованого підходу.

В ІПММС НАНУ багато років проводяться роботи в цьому напрямі [2-5,11]. Це обумовлено тим, що більшість методів моделювання безпеки небезпечних об'єктів в ЄС засновано на експертних оцінках, які мають нормативну та методологічну підтримку (International Standard IEC 31010:2019) [6]. Але ці методи поки що неможливе використовувати в Україні з причин відсутності нормативного механізму атестації експертів галузі, відповідно, й механізму відповідальності експерта за результати, якщо може статися великий ризик всупереч прогнозу. ІПММС та інші інститути НАН України виконують оцінки ризиків методами математичного моделювання, що виключає суб'єктивні фактори, та надає можливість застосовувати різні методи в залежності від категорії та типу об'єктів КІ. Так, в ІПММС НАНУ розроблені методологічні основи інформаційної технології безпеки на основі РОП [3]. Інформаційна технологія безпеки (ІТБ) передбачає: рішення проблеми управління безпекою на основі РОП та типових ймовірнісних структурно-логічних моделей (ЙСЛМ); максимальне використання інформаційних ресурсів; використане автоматизованої системи моніторингу; управління безпекою на основі аналізу ризику та запобігання небезпек; дерегуляцію державного нагляду; прийняття рішень на основі технологій ситуаційних центрів; об'єднання баз даних з безпеки та інше, відповідно до кращої світової практики. Як підсумок має бути неминуче суттєве скорочення витрат держбюджету – це позитивна світова практика. На жаль, у повному обсязі ця технологія впроваджена тільки в галузі експлуатації АЕС, дослідження безпеки інших КВІ в Україні є несистемними, не має зв'язків законодавства різних сфер і галузей, вчених та споживачів інформативних послуг, майже не задіяні в процесах служби страхування.

Отже, згідно з інформацією з Переліку КІ [7], до Секторальних органів належать: Міненерго; Мінцифри; Мінрегіон; Мінекономіки; МОЗ; НСЗУ (Національна служба здоров'я України), НКЦПФР (Національна комісія по цінним бумагам и фондовому ринку), Мінінфраструктури; Мінстратегпром; МВС; Мінфін. Чи можливе створення типових моделей по цим напрямкам? Так, можливе, більш того вони повинні мати вигляд методики де головною частиною є модель визначення загроз та ризиків, бажано щоб вона працювала й на прогнозування. Моделі й методи добре описані в згаданому новому європейському стандарті, але є загроза їх неграмотного застосування, що вже, на жаль було неодноразово при затвердженні урядом методики визначення ризиків. Проблеми, що пов'язані з інформаційними технологіями [7]: Порядок ведення Реєстру ще не затверджено Кабміном; Уповноважений орган у сфері КЗІ, який повинен би формувати та вести такий Реєстр, ще не функціонує; Інформація про існування іншого переліку об'єктів КІ відсутня, або такий перелік не міститься у відкритому доступі та/або є з обмеженим доступом. Реєстр об'єктів критичної

інфраструктури ще не створений та не функціонує; В Законі відсутні вимоги щодо впровадження ІТ та розробки програмного забезпечення. Звісно цей перелік можна продовжити.

Як позитивний приклад сучасного застосування ІТ в державі наведемо нещодавно подію у сфері безпеки АЕС, де є повна відповідність світовим вимогам з безпеки. Так, 02-03 червня 2023 року у м. Славутичі проходив семінар «Цифрові двійники у життєвому циклі об'єктів ядерної енергетики» [12], якій висвітлив місто наукових технологій у сфері атомної енергетики, підтримці співпраці науки, освіти щодо практичної значущості діючої інформаційної моделі Чорнобильської АЕС у поєднанні з інформаційною системою підтримки зняття з експлуатації.

ВИСНОВКИ

Потрібні зміни процесів управління безпекою на законодавчому, нормативному, методичному й науковому рівні, що й було передбачено розпорядженням КМУ «Про затвердження плану заходів щодо реалізації Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру». У важливих перетвореннях у державі на шляху до ЄС повинні приймати участь всі категорії суспільства, науковці у першу чергу.

Теми впровадження ІТ у сферу безпеки мають бути присутні не тільки на закритих форумах, а й на чисельних наукових конференціях, освітньому процесі тощо, потрібно розвивати ІТ у сфері безпеки.

Рішення проблеми безпеки КІ можливе в короткий термін й має бути комплексним: від методології, моделі до програм моніторингу. Відповідно до кращої світової практики має бути використана концепція РОП, методологія імовірнісного аналізу безпеки та відповідне програмне забезпечення.

В основі прийняття рішень має бути інформаційна технологія безпеки, оцінки ризиків по типовим програмам категорій об'єктів.

Задачі мають стати частиною держзамовлення НАНУ, зокрема, ця робота може бути виконана під керівництвом НАН України, ІПММС тощо з мінімальними витратами.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] “United Nations E-Government Survey 2020. Digital Government in the Decade of Action for Sustainable Development,” United Nations, New York, 2020.
- [2] В.В. Бегун, “Методологічні основи інформаційної технології управління безпекою на основі ризик-орієнтованого підходу”: дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.13.06 / Бегун Василь Васильович. – Київ, 2020. – 553 с.
- [3] В.В. Бегун, “Загальні питання стохастичного моделювання небезпек виробництв,” Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України. К., Вип. 45, 2008, С. 198–203.
- [4] В.В. Бегун, С.В. Бегун, “Одиниці виміру ризику за теорією ризик-орієнтованого підходу,” Математичні машини і системи, № 1. С. 191–202, 2019.
- [5] В.В. Бегун, С.В. Бегун, Ю.Н. Скалецкий, “«Избыточные» силы и средства при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: актуальная проблема,” Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г.С. Пухова НАН України. К., Вип. 53, 2009, С. 37–48.
- [6] “Risk management - Risk assessment techniques,” International Standard IEC 31010:2019, IEC, Geneva, 2019.
- [7] Закон України «Про критичну інфраструктуру». <https://zakon.rada.gov.ua/go/1882-20>
- [8] Проект Закону про внесення змін до деяких законів України щодо невідкладних заходів посилення спроможностей із кіберзахисту державних інформаційних ресурсів та об'єктів критичної інформаційної інфраструктури. <https://www.rada.gov.ua/news/razom/228459.html>
- [9] Кодекс цивільного захисту України. Законодавство України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
- [10] Нова система захисту критичної інфраструктури – це можливості для українського бізнесу та інновацій. [Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України \(cip.gov.ua\)](http://derzhavna.sluzhba.spetsialnogo.zv'язku.ta.zaxistu.informatsii.ukraini.gov.ua)
- [11] Бегун В.В. Цифрова економіка та питання безпеки ТРЦ України. *Математичні машини і системи*. 2023. № 1. С. 60-71.
- [12] INUDECO SEMINAR (Матеріали семінару у м.Славутичі 02-03. 06.23), <https://cutt.us/26Mn0>

Реалізація Реконфігурованого Пристрою на ПЛІС

Володимир Грига
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет імені Василя
Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна
v.dr_2000@ukr.net

Степан Мельничук, Ірина Мануляк
кафедра комп'ютерних систем і мереж
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
stenni@ukr.net, manulyak-iryna@ukr.net

Мирослав Павлюк
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет імені Василя
Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна
pavlyukpmf@gmail.com

Михайло Гуменицький, Андрій Павлишин
кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет імені Василя
Стефаника,
Івано-Франківськ, Україна
It_mychailo@ukr.net, andriyfl@ukr.net

Designing a Reconfigurable Device on a FPGA

Volodymyr Hryha
Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
v.dr_2000@ukr.net

Stepan Melnychuk, Iryna Manuliak
Department of Computer Systems and Networks,
Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
stenni@ukr.net, manulyak-iryna@ukr.net

Myroslav Pavlyuk
Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
pavlyukpmf@gmail.com

Mykhailo Humenitskyi, Andriy Pavlyshyn
Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
It_mychailo@ukr.net, andriyfl@ukr.net

Анотація — Визначено основні особливості та області застосування реконфігурованих комп'ютерних пристроїв в задачах паралельних та розподілених обчислень. Запропоновано структуру реконфігурованого пристрою обчислення математичних виразів з використанням мови опису апаратних засобів VHDL. Представлено внутрішню структуру арифметико-логічного пристрою паралельного типу. Реалізовано апаратні алгоритми виконання математичних операцій сумування, множення, ділення, піднесення до квадрату та порівняння двійкових чисел. Виконано моделювання та синтез розробленого реконфігурованого пристрою на ПЛІС сімейства Artix-7 з використанням САПР Vivado Design Suite.

Abstract— The main features and areas of application of reconfigurable computer devices in the tasks of parallel and distributed computing are determined. The structure of a

reconfigurable device for calculating mathematical expressions using the hardware description language VHDL is proposed. The internal structure of a parallel-type arithmetic-logic device is presented. Hardware algorithms for performing mathematical operations of addition, multiplication, division, squaring and comparison of binary numbers have been implemented. Modeling and synthesis of the developed reconfigurable device on the FPGA of the Artix-7 family was carried out using CAD Vivado Design Suite.

Ключові слова— реконфігурований пристрій; комутуюча мережа; АЛП; алгоритм; регістр реконфігурації; ПЛІС; САПР; синтез.

Keywords — reconfigured device; switching network; ALU; algorithm; reconfiguration register; FPGA; CAD; synthesis.

I. ВСТУП

Реконфігуровані комп'ютери як вид, які розташовані за своїми системними характеристиками приблизно посередині між універсальними та спеціалізованими комп'ютерами, з'явилися як виклик на потреби проєктувальників у засобах, які володіли б властивостями універсальних комп'ютерів з точки зору їх придатності до вирішення широкого кола задач, а з іншої сторони володіли би продуктивністю їх розв'язання, співмірною зі спеціалізованими засобами, розробленими для вирішення даної конкретної задачі [1-3]. Динамічного розвитку даний напрямок почав набувати з появою на ринку такого класу пристроїв, як ПЛІС (програмовні логічні інтегральні схеми) та ПЛІМ (програмовні логічні матриці). На початкових етапах розвитку реконфігурованих комп'ютерів покладалися досить великі надії щодо істотного підвищення продуктивності виконання задач. Однак при подальшому вивченні такого класу пристроїв було виявлено ряд особливостей проєктування та використання реконфігурованих комп'ютерів для збільшення задач продуктивності, які вочевидь вказували на нерациональність їх застосування в даній області (це і невиправдане збільшення часу на проєктування із збільшенням складності системи, і складність управління та конфігурування подібних систем та інше). Однак, для деяких класів задач, зокрема таких як адаптивна комунікація, паралельні і розподілені обчислення застосування реконфігурованих комп'ютерів виявилось незамінним. Слід відзначити, що даний напрямок на сьогоднішній день є доволі актуальним та продовжує розвиватися, знаходячи застосування в багатьох сучасних комп'ютерних системах при вирішенні актуальних науково-прикладних задач.

Метою даної публікації є проєктування реконфігурованого пристрою обчислення математичних виразів з використанням мови опису апаратних засобів VHDL. Пристрій повинен містити ряд багатофункціональних модулів арифметико-логічних пристроїв (АЛП) паралельного типу, які виконують арифметичні операції, комутуючу мережу за допомогою якої здійснюється прийом вхідних даних та передача проміжних результатів і вивід кінцевих результатів та реєстр реконфігурації, який керує кодами операцій АЛП та сигналами керування мультиплексорами комунікаційної мережі.

II. ОПИС СТРУКТУРИ РЕКОНФІГУРОВАНОВОГО ПРИСТРОЮ

На рис. 1 зображено загальну структуру реконфігурованого пристрою виконання математичних операцій.

Загальна структура реконфігурованого пристрою виконання математичних операцій складається з 6-ти блоків арифметико-логічних пристроїв, комутуючої мережі та реєстра реконфігурації. Вхідні дані є 8-ми розрядними та поступають на входи АЛП з комутуючої мережі. Комутуюча мережа забезпечує подачу вхідних даних та проміжних результатів на входи АЛП в потрібні моменти часу. Керування мультиплексорами комутуючої мережі та кодами операцій арифметико-логічних пристроїв здійснює реєстр реконфігурації. Реєстр реконфігурації вносить відповідну конфігурацію бітів в залежності від виконуваного на реконфігурованому пристрої математичного виразу. Математичні вирази можуть бути різного рівня складності, що залежить від реалізації тих чи інших операцій арифметико-логічним пристроєм. В нашому випадку – це здебільшого виконання простих арифметичних операцій (додавання, віднімання, множення, піднесення до квадрату та порівняння) над двійковими числами. За допомогою 6-ти блоків АЛП можна одночасно виконувати декілька різних операцій над даними, що значно покращує швидкість виконання операцій проєктованим реконфігурованим пристроєм. Подача вхідних даних та видача кінцевих результатів здійснюється за допомогою 8-ми двонаправлених ліній.

здійснює реєстр реконфігурації. Реєстр реконфігурації вносить відповідну конфігурацію бітів в залежності від виконуваного на реконфігурованому пристрої математичного виразу.

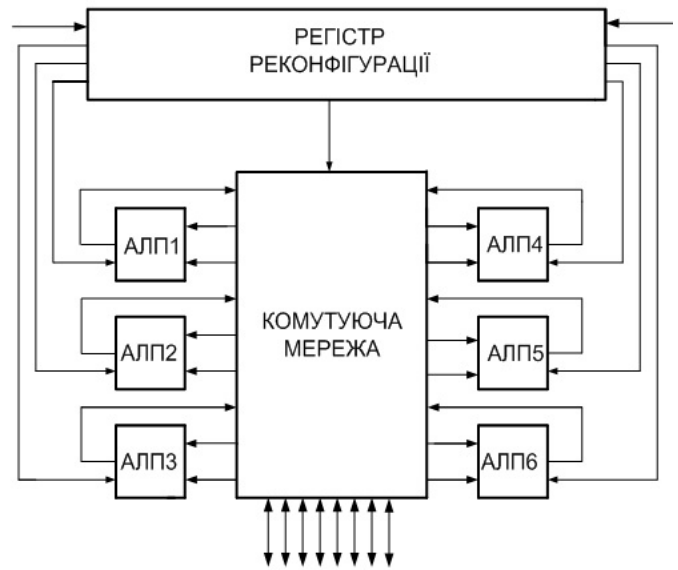


Рис. 1. Загальна структура реконфігурованого пристрою обчислення математичних виразів.

Загальна структура реконфігурованого пристрою виконання математичних операцій складається з 6-ти блоків арифметико-логічних пристроїв, комутуючої мережі та реєстра реконфігурації. Вхідні дані є 8-ми розрядними та поступають на входи АЛП з комутуючої мережі. Комутуюча мережа забезпечує подачу вхідних даних та проміжних результатів на входи АЛП в потрібні моменти часу. Керування мультиплексорами комутуючої мережі та кодами операцій арифметико-логічних пристроїв здійснює реєстр реконфігурації. Реєстр реконфігурації вносить відповідну конфігурацію бітів в залежності від виконуваного на реконфігурованому пристрої математичного виразу. Математичні вирази можуть бути різного рівня складності, що залежить від реалізації тих чи інших операцій арифметико-логічним пристроєм. В нашому випадку – це здебільшого виконання простих арифметичних операцій (додавання, віднімання, множення, піднесення до квадрату та порівняння) над двійковими числами. За допомогою 6-ти блоків АЛП можна одночасно виконувати декілька різних операцій над даними, що значно покращує швидкість виконання операцій проєктованим реконфігурованим пристроєм. Подача вхідних даних та видача кінцевих результатів здійснюється за допомогою 8-ми двонаправлених ліній.

На рис. 2 представлено внутрішню структуру багатофункціональних блоків АЛП реконфігурованого пристрою.

В основному в АЛП використовуються складні операції, які реалізуються на основі елементарних операцій [4]. Серед складних операцій використовуються арифметичні операції (додавання, віднімання, множення, ділення, піднесення до квадрату) та операції порівняння

(менше, більше). Загалом – це 6 блоків базових операцій АЛП.

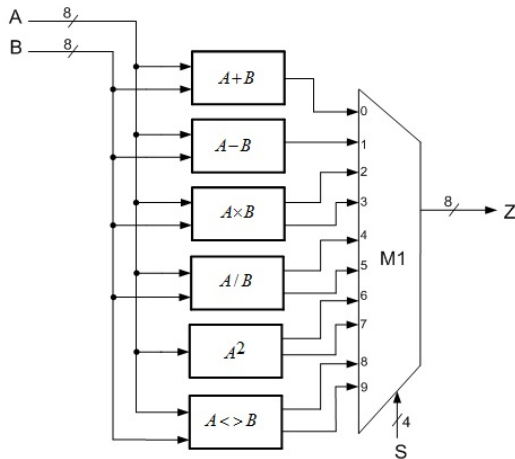


Рис. 2. Внутрішня структура АЛП.

Слід зазначити, що вхідні дані А і В є 8-ми розрядними цілими числами з фіксованою комою. Оскільки в АЛП проводиться обробка над 8-ми розрядними даними, то вихідні результати операцій множення та піднесення числа до квадрату розділені на старшу та молодшу частини, кожна з яких є 8-ми розрядною. На вихід (Z) здійснюється вивід результатів виконання операцій АЛП, які виводяться в залежності від значення 4-ох розрядного коду операції S.

Операція сумування в АЛП реалізується на основі структури багаторозрядного суматора із послідовним розповсюдженням переносу [4]. У якості компонентів однорозрядних повних та неповних двійкових суматорів використано удосконалені компоненти запропоновані у роботах [5,6], що дозволило зменшити апаратну складність пристрою в 1,5 рази та підвищити його швидкодію у 2 рази.

Операція множення в АЛП реалізується на основі матричного алгоритму множення двійкових чисел Брауна [4] з використанням запропонованих компонентів однорозрядних повних та неповних двійкових суматорів.

Операція ділення [4] в АЛП реалізується на основі матриці систолічних комірок, які містять тригери, однорозрядний повний двійковий суматор та мультиплексор.

Операція піднесення числа до квадрату в АЛП реалізується на основі табличного алгоритму та містить удосконалені однорозрядні повні та неповні двійкові суматори.

Операція порівняння в АЛП реалізується на основі апаратного алгоритму порівняння двійкових чисел модифікованим методом "бульбашки" [7]. У якості блоку порівняння і переставлення двійкових чисел використано запропоновану структуру такого компонента в роботі [8], який у порівнянні з відомими має кращі параметри швидкодії та затрат обладнання.

III. СТРУКТУРА КОМУТУЮЧОЇ МЕРЕЖІ РЕКОНФІГУРОВОНОГО ПРИСТРОЮ

Комутуюча мережа призначена для своєчасної подачі вхідних даних та проміжних результатів на входи відповідних арифметико-логічних пристроїв та видачі отриманих результатів. На рис. 3 зображено структуру комутуючої мережі реконфігурованого пристрою.

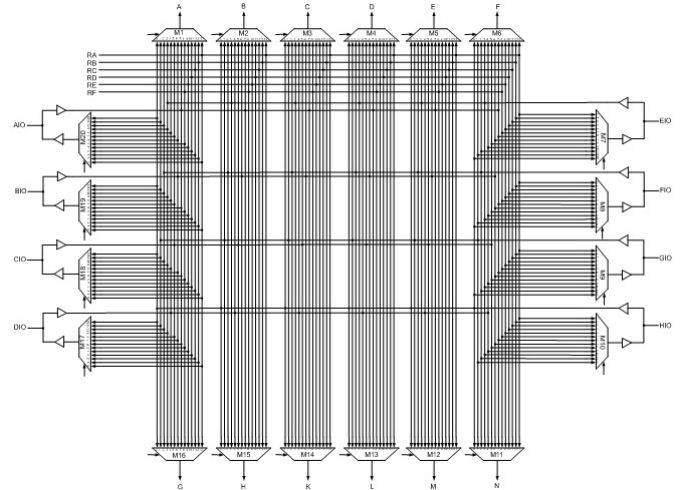


Рис. 3. Структура комутуючої мережі реконфігурованого пристрою.

Структура комутуючої мережі складається з 12-ти 14-входових (M1-M6, M11, M12- M16) та 8-ми 13-входових (M7-M10, M17-M20) мультиплексорів, які з'єднані між собою лініями зв'язку. Всі лінії зв'язку є 8-ми розрядними. На лінії зв'язку RA, RB, RC, RD, RE та RF поступають проміжні та кінцеві результати обробки даних на 6-ти блоках АЛП. Вихідні лінії чотирнадцяти входових мультиплексорів A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, M та N заведені на 12 входів 6-ти блоків АЛП, по даних лініях подаються вхідні дані та проміжні результати. Сигнали AIO, BIO, CIO, DIO, EIO, FIO, GIO та HIO є двонаправленими, тобто по даних лініях можна подавати вхідні дані на входи АЛП та видавати кінцеві результати. Керування даними мультиплексорами комутуючої мережі здійснює регістр реконфігурації. При обчисленні нового виразу конфігурація регістра змінюється користувачем.

IV. МОДЕЛЮВАННЯ ТА СИНТЕЗ РЕКОНФІГУРОВОНОГО ПРИСТРОЮ

На рис. 4 зображено діаграму функціональної симуляції реконфігурованого пристрою обчислення математичних виразів.

На діаграмі бачимо, подачу вхідних значень на входи: In_A=01, In_B=02, In_C=07, In_D=02, In_E=08, In_F=04, In_G=10, In_H=02, In_K=09.

Як приклад, на реконфігурованому пристрої реалізується обчислення заданого математичного виразу:

$$Z = (a + b) \times (c - d) + (e - f)^2 \text{ xor } ((g/h) \text{ and } k)$$

Рис. 5. Імплементція реконфігуровного пристрою на кристал ПЛІС в САПР Vivado.

У результаті проведеного синтезу та імплементції реконфігуровного пристрою на визначений кристал ПЛІС, на його реалізацію потрібно 4237 LUT із наявних 63400 на кристалі, 108 (1%) тригерів із наявних 126800 та має 55 (24%) входів і виходів із наявних 210 на ПЛІС. Реконфігурований пристрій працює на тактовій частоті 207 МГц.

V. ВИСНОВКИ

Розроблено реконфігурований пристрій реалізації математичних операцій для 8-ми розрядних двійкових даних, який дозволяє здійснювати паралельні та розподілені обчислення заданих математичних виразів. Застосування удосконалених компонентів в апаратних алгоритмах виконання операцій додавання, множення, піднесення до квадрату, ділення та порівняння дозволило скоротити кількість обладнання для реалізації реконфігуровного пристрою у 2,5 рази та підвищити його швидкодю у 3 рази при порівнянні із класичними компонентами. В результаті моделювання та синтезу реконфігуровного пристрою, на ПЛІС сімейства Artix-7 фірми Xilinx, отримано системні характеристики затрат обладнання і швидкодії, які збіжні із теоретичними розрахунками, у порівнянні із реалізацією такого пристрою на класичній елементній базі.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Мельник А.О., Мельник В.А. Персональні суперкомп'ютери: архітектура, проектування, застосування: монографія / - Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 516 с.
- [2] Ian Sinclair Electronics Simplified Book / Third Edition.- Newnes, 2011, - 368 p
- [3] W. Robert and Jr. Heath, "Introduction to Wireless Digital Communication," 1 Ed. Prentice Hall, 2017, p. 464
- [4] Мельник А.О. Архітектура комп'ютера, Наукове видання. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
- [5] Патент України. №115861 Однорозрядний напівсуматор Бюл. №8, 2017.
- [6] Патент України №150330 Повний однорозрядний двійковий суматор. Бюл. №5, 2022
- [7] V. Gryga, Y. Nykolaichuk, L. Nykolaichuk, N. Vozna, H. Klym Structuring of Algorithms for Data sorting and New Principles of Their Parallelization // Advanced Computer Information Technologies. International Conference. ACIT 2019. – Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. – P. 205-208
- [8] Патент України №151889 Пристрій порівняння багаторозрядних двійкових даних. Бюл. №39, 2022

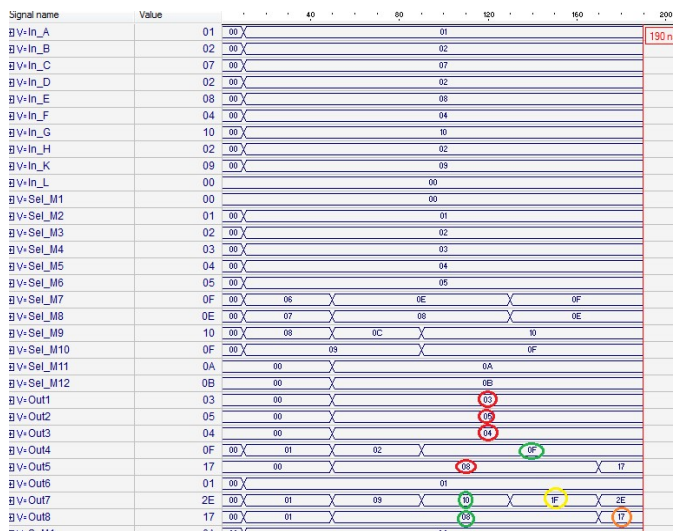
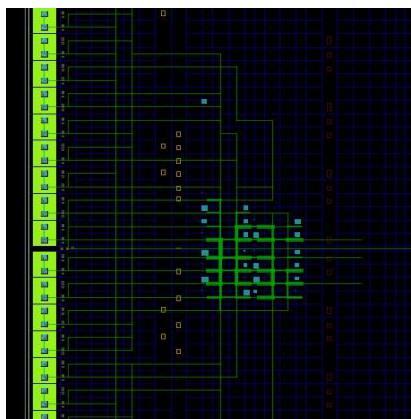


Рис. 4. Функціональна діаграма роботи реконфігуровного пристрою в середовищі Active-HDL.

На виходах Out1-Out3 та Out5 діаграми виведені проміжні результати обрахунків першої ланки паралельних доданків на 1,2,3 та 4 АЛП, а на виходах Out4, Out7 та Out8 діаграми подані проміжні результати обрахунків другої ланки паралельних доданків на 6,5 та 4 АЛП. На виході Out7 поданий проміжний результат обрахунку третьої ланки паралельних доданків виконаний 5-м АЛП, а на виході Out8 подано кінцевий результат виконаний на 4-му АЛП.

Синтез реконфігуровного пристрою обчислення математичних операцій проведено на ПЛІС сімейства Artix-7 кристал XC7a100Tcsg324-1 фірми Xilinx.

На рис. 5, у збільшеному виді, показано ділянку кристалу ПЛІС на якій відбулася імплементція структури реконфігуровного пристрою в САПР Vivado Design Suite.



Synthesis of reversible circuits by genetic algorithm with multicomponent mutation

Taras Kyryliuk

Computer Systems Software dept.
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Chernivtsi, Ukraine
flexx02@gmail.com

Vitaly Deibuk

Computer Systems and Networks dept.
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Chernivtsi, Ukraine
v.deibuk@chnu.edu.ua

Semen Kyryliuk

Radio Engineering and Information Security dept.
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University
Chernivtsi, Ukraine

Анотація—Розглянуто застосування генетичного алгоритму для синтезу оптимальних зворотних схем, зокрема в контексті розвитку квантових комп'ютерів. Запропоновано покращений генетичний алгоритм з багатоскладовою компонентою мутації і рулетковим методом селекції. Використано матричний підхід до шифрування геному, що базується на бібліотеці зворотних квантових вентилів, а також можливість здійснювати обмін вихідних пінів. Розроблена програма дозволяє здійснити оптимальний синтез відмовостійких схем в заданому базисі, а отримані результати порівнюються з відомими роботами інших авторів.

Abstract—The application of a genetic algorithm for synthesizing optimal reversible circuits, particularly in the context of quantum computing development, is explored. An enhanced genetic algorithm with a multi-component mutation and a roulette wheel selection method is proposed. A matrix-based genome encoding approach is utilized, relying on a library of reversible quantum gates, along with the capability of exchanging output pins. The developed program enables the optimal synthesis of fault-tolerant circuits in a specified basis, and the obtained results are compared with known works by other authors.

Ключові слова—генетичний алгоритм, зворотні схеми, квантові комп'ютери;

Keywords—genetic algorithm, reversible circuits, quantum computers;

I. INTRODUCTION

In recent years, artificial intelligence methods, particularly evolutionary computing, have gained significant application in solving highly complex problems across various fields of science and technology. Additionally, the practical need for the development of quantum computers, which are inherently reversible systems both physically and logically, requires modelling their fundamental elements using intelligent synthesis and analysis methods. Among the existing approaches, analytical and graphical methods unfortunately unable to synthesizing large-scale reversible quantum networks. Therefore, an alternative approach is the utilization of evolutionary algorithms, which,

despite the known risk of getting trapped in local minimum, enable finding solutions close to optimality. [1-3].

The main concept of this research, within the scope of this study, is the development and utilization of the Genetic Algorithm (GA) for synthesizing optimal inverse schemes [4, 5]. We have proposed a GA with a multi-component mutation component, a roulette selection method, as well as a novel matrix-based approach to genome encryption for synthesizing optimal reversible circuit based on the library of reversible *Fredkin*, *NOT*, *CNOT*, *Toffoli* gates; improvement of the scheme after its evaluation in the form of a pin exchange table (lines on which the gates are placed).

II. DESCRIPTION OF THE IMPROVED GENETIC ALGORITHM

Encoding. A chromosome (circuit) is represented by an object with the following variables: a list of genes, a fitness function value, the number of errors (Hamming distance), a quantum cost, and a pin exchange table. Each gene is represented by a vector of gates that are arranged in parallel or in series, and each vector is placed at a specific position (pin index), maximizing the available space. By using this chromosome representation, the need for decoding individuals before evaluation is eliminated.

Creating the initial population. The maximum length of the chromosome N and the number of pins Q are selected, along with the maximum number of generations G and the number of individuals in a generation C_{max} . N and Q correspond to the number of columns and rows of the matrix, respectively. The columns of the matrix represent the gene vectors. To create the initial population, stochastic filling of genes with gates of the selected basis is carried out, for example, *Type* (*Fredkin*, *NOT*, *CNOT*, *Toffoli*). Each gene is filled with gates until the entire vector is filled, or there are no free places to place new gates.

The fitness function. The fitness function of a chromosome is multi-component. To facilitate manipulation of the components, weight coefficients α and β were introduced. The component $F(H_d) = \alpha(1/(1 + H_d))$, where H_d is the Hamming distance (the number of values in the obtained truth table that differ from the reference truth table for the desired circuit). The component $F(Q_c) = \beta(1/(1 + Q_c))$, where Q_c is the quantum value of the evaluated circuit and

equals the sum of q_c , the quantum values of the circuit's gates. The overall fitness function (1) is given by:

$$F = F(H_d) + F(Q_c), \quad (1)$$

Genetic operators. To perform crossover, random crossover points are selected, along with crossover probability parameter P_c and the number of best individuals migrating to the next generation, E . Another genetic operator is mutation, which has mutation probability parameters P_m . P_m is multi-component, consisting of P_{ms} , P_{ma} , and P_{mr} , where P_{ms} is the probability of changing a gate pin, P_{ma} is the probability of adding a new gate to the current gene, and P_{mr} is the probability of deleting a gate.

Evaluation. The fitness function values of each chromosome are recorded in the corresponding individual object. The fitness evaluation is computed as follows: each gate object contains a change function that is used to calculate the output value. Therefore, the input value vector is fed into the first gene, and calculations are performed for each gate. The output gate vector of the first gene becomes the input gate vector for the second gene. This operation is repeated until the last gene N is reached. After computing the truth table of the obtained circuit, a bitwise evaluation of the fitness function is performed. H_d is calculated bitwise by comparing it with the reference truth table using Hamming distance, and the values are recorded into the *swap table*. In the current generation, the chromosome with the best fitness function is selected and stored into the variable of the genetic algorithm object.

Generation of a new generation. The E individuals with the highest fitness function values are selected and transferred to the next population.

Two-point crossover occurs with a probability of P_c . Roulette wheel selection is used for parent selection. The program implements a multicomponent gene mutation with a probability of P_m . It is important to note that by manipulating the mutation components, it is possible to increase the probability of some factors while simultaneously decreasing the probability of others, as $P_{ms} + P_{ma} + P_{mr} = 1$.

Algorithm Termination Conditions. After generating a new generation, the operation is repeated until the fitness function of the best chromosome becomes ≥ 1 or the number of generations reaches its maximum value. The resulting best chromosome is adjusted: genes without gates are removed, *SWAP* gates are added for bits that were written in the *swap table*, pair of identical genes that are connected in series are removed, etc.

The result of the program execution is a circuit based on the library of reversible quantum gates, where the first pins will be the outputs with the expected data in the original truth table, the others will be redundant outputs. If possible, garbage outputs, like all unused pins, are removed.

III. RESULTS AND DISCUSSION

The described algorithm was used to synthesize a full one-bit adder based on Fredkin gates [5]. The following parameters were applied to the described GA: chromosome length $N = 5$; number of pins $Q = 5$; maximum number of generations $G = 1500$; population size $C_{max} = 100$; error weight coefficient $\alpha = 0.9$; cost weight

coefficient $\beta = 0.11$; number of elite individuals transferred to the next generation without changes $E = 8$; mutation probability $P_m = 0.1$; probability of changing a pin for a gate $P_{ms} = 0.4$; probability of adding a new gate to the circuit $P_{ma} = 0.1$; probability of removing a gate from the circuit $P_{mr} = 0.5$; crossover probability $P_c = 0.7$.

A full one-bit adder based on Fredkin gates (Fig. 1) was synthesized as a test example. The obtained circuit is fault-tolerant and has a hardware complexity of 5 with $Q_c = 25$ (the quantum cost of one *FRG* is 5, and the last two *SWAP* gates do not affect the device's delay time, only determining the order of reading the result).

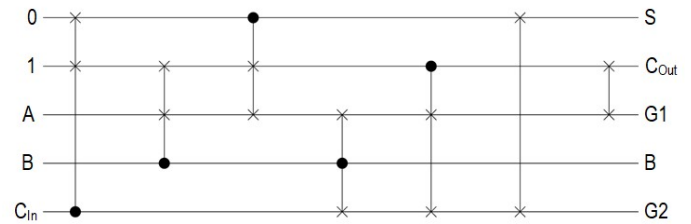


FIG. 3. One-bit adder based on Fredkin gates

In the obtained circuit, the input signals 0 and 1 are constant, while the input signals A , B , and C_{in} correspond to the input signals, as per the truth table of a full adder. The circuit output S represents the sum, the C_{Out} - output, which corresponds to the carry, and $G1$, $G2$ are garbage outputs. The obtained circuit was translated into *QASM* (Quantum Assembly Language) and verified in the *IBM Quantum lab*.

IV. CONCLUSIONS

The paper proposes a new way of representing chromosomes in the genetic algorithm for modelling reversible circuits based on reversible quantum gates. Using the proposed algorithm, better synthesis results for some combinational reversible devices were obtained compared to existing algorithms. The improved genetic synthesis algorithm also reduces the time required to generate the optimal solution by utilizing permutations of target outputs. The research shows that the average synthesis time for obtaining an optimal circuit is approximately 2 seconds, with only 95 generations being used.

REFERENCES

- [1] J. Han, X. Zhang & X. Wang, "Application Research of Evolutionary Algorithm in Synthesis of Reversible Logic Circuits", *J. Phys.: Conf. Series*, vol. 1237, 022083 (5 pp.), 2019.
- [2] D. Maslov, G. W. Dueck & D. M. Miller, "Synthesis of Fredkin-Toffoli reversible networks", *IEEE Trans. Very Large Scale Integration (VLSI) Syst.*, vol. 13, no. 6, pp. 765–769, 2005.
- [3] G. P. Gorskyi & V. G. Deibuk, "Four spins model of universal quantum Fredkin gate", *Informational Technol. Comput. Eng.*, vol. 21, no. 2, pp. 56–63, 2011.
- [4] O. Dovhaniuk & V. Deibuk, "Synthesis and implementation of reconfigurable reversible generalized Fredkin gate", 2021 IEEE 12th Int. Conf. Electron. Inf. Technol. (ELIT), pp. 165–169, 2021.
- [5] V. Deibuk & I. Grytsku, "Optimal synthesis of reversible quantum summators using genetic algorithm", *Journal of Computing*, vol. 12, no. 1, pp. 32–41, 2013.

Improved Synthesis of Reversible Circuits Based on the Ant Colony Optimization Algorithm

Mykhailo Palahuta, Vitaly Deibuk
Department of Computer Systems and
Networks
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National
University
Chernivtsi, Ukraine
michaeller.2012@gmail.com

Анотація—Застосування мурашиного алгоритму до синтезу схем зворотної логіки відоме вже досить давно. Сучасні реалізації розглянуті нами використовують вентиль Тоффолі як базис. У даній роботі, ми пропонуємо розширення мурашиного алгоритму для підтримки комбінації різних вентилів у синтезованих схемах. Ми звертаємо увагу на використання базису комбінації вентилів Фредкін та Контрольване НЕ. Отримані результати демонструють покращення квантової вартості та часу синтезу при використанні запропонованого базису у порівнянні з використанням виключно Тоффолі.

Ключові слова—зворотна логіка, синтез, мурашиний алгоритм.

Abstract—The application of Ant-Colony Optimization (ACO) algorithm to reversible logic circuits synthesis has been known for a while. Modern implementations that we reviewed use Toffoli gates as a basis. In this paper, we propose an extension to the ACO algorithm that allows the combining of different gates in synthesized circuits. We put our emphasis on investigating the combination of the Fredkin and CNOT gates as a basis. The obtained results demonstrate improvements in quantum cost and synthesis speed using the mentioned basis instead of using Toffoli gates exclusively.

Keywords—reversible logic, synthesis, ant-colony optimization.

I. INTRODUCTION

Ever since Landauer and Bennett showed that zero energy dissipation in digital circuits can only be achieved when there is no information loss [1,2], a pursuit for effective reversible logic synthesis algorithms has started. First introduced in [3], the application of the Ant-Colony Optimization turned out as a good compromise between result quality and computational resources demand. However, known implementations rely on a single basis element, typically Toffoli.

In this paper, we are presenting an extension to the original algorithm that combines different basis gates in the process of synthesis. As experimental results demonstrate, it is possible to achieve less quantum cost while spending less time on the synthesis when using Fredkin and CNOT combined basis.

II. BACKGROUND

A. Ant-Colony Optimization

Self-organization of ants was always appealing to the scientific community because of ants' ability to find theoretically optimal paths without centralized control. These social insects rely on randomness, iterations, and stigmergy to share and utilize their experience.

Stigmergy is a time-distributed type of interaction where a subject modifies a piece of its environment leaving some information for others that will come across that place later. In the ant world, stigmergy is represented by pheromones that ants leave on some paths indicating how quickly they were able to travel to food source and back via that route.

Every time an ant needs to decide between multiple paths forward, it evaluates the visible distance and amount of pheromone for each route. Using (1) we can calculate weights of each possible path from node i to j , where r_{ij} is a path that is one of the possible next nodes, α is a pre-defined coefficient specifying the importance of pheromone, β is a corresponding coefficient for the importance of distance, p_{ij} is the pheromone value left by previous generations, d_{ij} is an actual distance between the nodes that an ant can see.

$$w(r_{ij}) = \alpha \cdot p_{ij} + \beta \cdot d_{ij} \quad (1)$$

ACO algorithm consists of several iterations each generating a colony of artificial ants. The ants travel from their home to their food source and back following the decision process described above and leaving new pheromones on the taken route afterward. Additionally, the pheromones evaporation process takes place at the end of every iteration, to make sure ants can adjust to changes in the environment.

B. Problem Formulation

Applying ACO to the reversible logic synthesis problem requires formulating the task as a directed graph. For that, we consider truth tables of circuits as nodes and model them as permutation vectors. For example, the truth table from Fig. 1 can be represented as a vector [2, 6, 0, 5, 7, 3, 4, 1] where the position index corresponds to the digital encoding of the input word and the number at that position - to digital encoding of the output word.

Edges of the graph represent gates that transform a circuit's state from one truth table to another. In the prior art

[3], Toffoli gates are represented as $g(t, [c_0, \dots, c_n])$, where t is a line number of the target bit, $[c_0, \dots, c_n]$ is a vector containing a special role identifier for every line on the circuit based on their vector position. The role identifiers are: 0 – indicates that the line is a positive control line, 1 – the line is a negative control, 2 – the line is not part of the circuit. The algorithm starts constructing the graph from the desired truth table looking for a path towards the table that represents a circuit with no gates, so-called zero-truth table.

x_3	x_2	x_1	y_3	y_2	y_1
0	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	1	1	1
1	0	1	0	1	1
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	0	1

Fig. 1. Truth table of the reversible function

III. METHODOLOGY

Improvements to the algorithm developed during our research are explained in this section. The changes were designed to support any basic set of gates in the synthesis process. It is only important that the selected base is functionally complete. Gates can have any number of positive and negative control lines and a fixed number of target bits determined by the gate type.

A. Gate type selection model

To support the combined basis, we introduced a new step to the ACO synthesis algorithm for ants to select a type of gate before selecting target and control bits. The decision formula for selecting the next gate type is the same as for bit lines (1), however, the distance and pheromone values are resolved differently.

Pheromone values are being deposited for gate type selections separately by ants after completing their tour. Therefore, gate type selection collects its own knowledge independent from specific gate line decisions.

Computing visibility for all possible gates of all available types is an overhead considering the low impact of gate type selections at initial iterations. Therefore, to make sure decisions are consistent with the algorithm's search focus and computational resources are being utilized efficiently, the visibility of selecting gate type g_{t_k} at node i is resolved using the following steps:

- 1) Find all paths P from i that use g_{t_k} and have a pheromone amount greater than 0.
- 2) For every element of P , calculate the error count between the truth table the gate is leading to and the zero-truth table.
- 3) Use minimal of the computed error counts as visibility.

Otherwise, if there is no pheromone on any path starting at i , a random gate type from the list of available is selected.

B. Handling multiple target bits

The proposed synthesis method is agnostic to specific gate types; therefore, it must be capable of synthesizing gates with more than one target bit. As a result, the gate model was changed from $g(t, [c_0, \dots, c_n])$ to $g([t_0, \dots, t_m], [c_0, \dots, c_n])$ where $[t_0, \dots, t_m]$ is a vector containing target bit lines'

numbers. This turns the selection of the next target bit from a linear operation into a loop where a value is selected for each element of the vector.

In addition, to ensure consistency of the generated gates, an ant checks if the considered target bit has not yet been used in the gate before each selection. Further control bit pheromones evaluation and consistency checks now also rely on a vector of target bits instead of a single bit value.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed method was implemented as a Go program that we ran on an Apple M1 Max workstation. This section demonstrates the results of using a combination of Fredkin and CNOT gates as a basis.

We compared the results of the synthesis of seven different inverse functions in the combined basis with the results in the Toffoli basis [3,4], using the same ACO configuration parameters. Table I presents a comparison of the quantitative indicators of the cost of both approaches. We also found a 20% reduction in synthesis time with the new basis.

TABLE I. QUANTUM COST METRICS COMPARISON

Function	Quantum Cost	
	Toffoli [3,4]	Fredkin + CNOT
[1,0,3,2,5,7,4,6]	15	11
[7,0,1,2,3,4,5,6]	15	21
[0,1,2,4,3,5,6,7]	20	7
[0,1,2,3,4,5,6,8,7,9,10,11,12,13,14,15]	35	8
[4,3,0,2,7,5,6,1]	25	17
[3,6,2,5,7,1,0,4]	30	24
[1,2,7,5,6,3,0,4]	30	44

V. CONCLUSIONS

We have proposed an extension to reversible logic synthesis Ant-Colony Optimization algorithm for supporting gates with any number of target bits and allowing usage of combined basic gates in the synthesized circuits. We demonstrated that by using Fredkin and CNOT gates as basis quantum cost and synthesis speed can be improved.

REFERENCES

- [1] R. Landauer, "Irreversibility and heat generation in the computing process," IBM J. Research & Development, vol. 5, no. 3, pp. 183–191, July 1961.
- [2] C. Bennett, "Logical reversibility of computation," IBM J. Research & Development, vol. 17, no. 6, pp. 525–532, Nov. 1973.
- [3] M. Li, Y. Zheng, M. S. Hsiao, and C. Huang, "Reversible logic synthesis through ant colony optimization," in 2010 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition, Dresden, Germany, Mar. 2010, pp. 307-310.
- [4] K. Podlaski, "Ant colony optimization implementation for reversible synthesis in Walsh-Hadamard domain," in Computational Science – ICCS 2020, Jun. 2020, pp. 230-243.

Дослідження впливу тонкостінних оболонок, податливих до зсуву та стиснення, на поширення хвиль у рідкому наповнювачі

Ірина Бернакевич
кафедра інформаційних систем
Львівський національний університет імені Івана
Франка
Львів, Україна
iryna.bernakevych@lnu.edu.ua

Ірина Козій
кафедра інформаційних систем
Львівський національний університет імені Івана
Франка
Львів, Україна
iryna.kozyi@lnu.edu.ua

Investigation of the influence of thin shells, compliant to shear and pressure, on the propagation of waves in a liquid filling

Iryna Bernakevych
Department of Information Systems
Lviv National University of Ivan Franko
Lviv, Ukraine
iryna.bernakevych@lnu.edu.ua

Iryna Koziy
Department of Information Systems
Lviv National University of Ivan Franko
Lviv, Ukraine
iryna.kozyi@lnu.edu.ua

Анотація—Сформульовано та досліджено математичну модель акустичної взаємодії оболонки обертання з рідиною у випадку осесиметричного навантаження. В основу моделі покладено лінійні співвідношення оболонок, податливих до зсувів та стиснення та акустичне наближення рідини. Сформульовано початково-крайову задачу та відповідну їй варіаційну задачу взаємодії двох середовищ. Побудовано проекційно-сіткову схему, яка передбачає напівдискретизацію Гальоркіна за просторовими змінними та однокрокову рекурентну схему інтегрування в часі. Проведено комп'ютерне моделювання поширення хвиль у рідкому наповнювачі.

Abstract—A mathematical model of rotational shell – fluid acoustic interaction in case of axially symmetric load is formulated and investigated. The model is based on linear statements of shells compliant to shear and pressure and acoustic fluid approximation. The initial-boundary value problem and the corresponding variational problem of the interaction of two medium are formulated. A projection-mesh scheme that provides Galerkin semi-discretization by spatial variables and one-step recurrent time integration scheme is constructed. Computer modeling of wave propagation in liquid filler was carried out.

Ключові слова—оболонка, початково-крайова задача, варіаційна задача, проекційно-сіткова схема, апроксимація Гальоркіна, однокрокова рекурентна схема

Keywords—shell, initial-boundary value problem, variational problem, projection mesh scheme, Galerkin semi-discretization, one-step recurrent scheme.

I. ВСТУП

Дослідження динамічних процесів акустичної взаємодії різних фізико-механічних систем відіграє важливу роль в багатьох галузях, зокрема в приладобудуванні. Необхідність одночасного врахування змін фізико-механічних полів у різних фізичних системах зумовлює актуальність досліджень, які пов'язані з ускладненням математичних моделей [3] для повнішого врахування процесів взаємодії.

Метою роботи є дослідження поведінки циліндричної оболонки та рідини у разі поширення ударної хвилі в рідкому наповнювачі з використанням уточненої теорії оболонок. Аналогічна задача досліджена в праці [1], де для моделювання акустичної взаємодії оболонки з рідиною використано співвідношення лінійної теорії оболонок

Тимошенка – Міндіна та акустичне наближення рідини. Тут в основу моделі покладено лінійні співвідношення оболонок, податливих до зсувів та стиснення [2] та акустичне наближення рідини.

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Розглянемо в циліндричній системі координат (r, z, θ) ізотропну циліндричну оболонку постійної товщини h , радіуса R та висоти L , повністю заповнену нев'язкою стисливою рідиною (рис.1). Нехай верхній край оболонки шарнірно опертий, а нижній – жорстко закріплений в абсолютно жорсткій плиті. Припустимо, що на границі Γ_V розташований абсолютно жорсткий поршень маси m , який без тертя проковзує вздовж меридіану оболонки Γ_S . Будемо розглядати нестационарні осесиметричні процеси в системі «оболонка-рідина», зумовлені імпульсом Q , прикладеним до поверхні поршня.

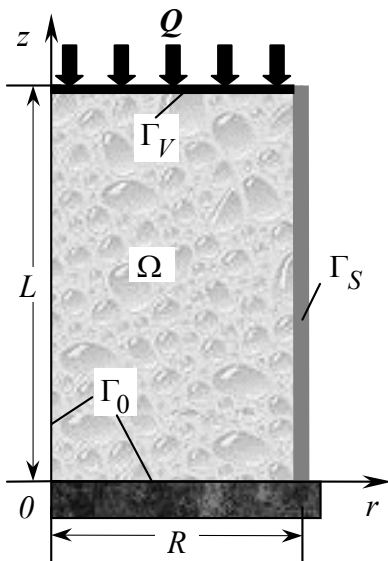


Рис. 1. Меридіанний перетин конструкції

Постановка початково-крайової задачі наведена в [3]. Тут сформулюємо відповідну їй варіаційну постановку задачі.

Введемо функціональні простори

$$\begin{aligned} \mathbb{V} &= \{v \in H^1((0, L)) \mid v(0) = v(L) = 0\}, \\ \Xi &= \{\xi \in H^1((0, L)) \mid \xi(0) = \xi(L) = 0\}, \\ \Upsilon &= \{y \in H^1((0, L))\}, \quad Z = \{\zeta \in H^1((0, L))\}, \\ S &= V \Gamma \Upsilon \Gamma \Xi \Gamma Z, \quad G = \overset{\Delta}{\mathbb{H}^2}((0, L)) \overset{\Delta}{\mathbb{H}^1}, \quad \Phi = \{\phi \in H^1(\Omega)\}, \\ H &= L^2(\Omega), \quad Q = S \Gamma \Phi, \quad X = G \Gamma H. \end{aligned}$$

У довільний момент часу t із проміжку $[0, T]$, $0 < T < +\infty$ вектор пружних зміщень $s = (u, w, \gamma_1, \gamma_3)$ серединної поверхні оболонки та потенціал швидкостей ψ рідини обчислюють з такої варіаційної задачі взаємодії:

$$\begin{aligned} &\text{виздано } \psi_0 \in \Phi, \psi_1 \in H, s_0 \in S, s_1 \in G \\ &I \in L^2(0, T; \Phi \dot{\Upsilon}), \lambda \in L^2(0, T; S \dot{\Upsilon}); \\ &\text{знайти пару } p = (\psi, s) \in L^2(0, T; \Phi \Gamma S) \text{ таку, що} \\ &m(\psi \ddot{\Upsilon}(t), \phi) + a(\psi(t), \phi) - b(s \dot{\Upsilon}(t), \phi) = \mathcal{A}(t), \phi, \\ &\mu(s \dot{\Upsilon}(t), g) + \eta(s(t), g) + b(g, \psi \dot{\Upsilon}(t)) = \mathcal{B}(t), g, \quad (1) \\ &m(\psi \dot{\Upsilon}(0) - \psi_1, \phi) = 0, \\ &\mu(s \dot{\Upsilon}(0) - s_1, g) = 0, \quad \phi \in \Phi, \\ &a(\psi(0) - \psi_0, \phi) = 0, \quad g = (v, y, \xi, \zeta) \in S, \\ &\eta(s(0) - s_0, g) = 0, \quad t \in [0, T] \end{aligned}$$

Використані в (1) лінійні та білінійні форми визначаються формулами

$$\begin{cases} m(\psi, \phi) = \int_{\Omega} \frac{1}{\rho_0 c^2} \psi \phi r dr dz, \\ a(\psi, \phi) = \int_{\Omega} \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} \frac{\partial \phi}{\partial r} + \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) r dr dz, \\ \mu(s, g) = \int_0^L \left(\rho h u v + \rho h w y + \frac{\rho h^3}{12} \gamma_1 \xi + \frac{\rho h^3}{12} \gamma_3 \zeta \right) R dz, \\ \eta(s, g) = \int_0^L \left\{ \sum_{j=1}^2 [N_{jj}(s) \varepsilon_{jj}(g) + M_{jj}(s) \kappa_{jj}(g)] + \right. \\ \left. + N_{33}(s) \varepsilon_{33}(g) + N_{13}(s) \varepsilon_{13}(g) + M_{13}(s) \kappa_{13}(g) \right\} R dz, \\ b(s, \phi) = \int_0^L \left(w \phi + \frac{h}{2} \gamma_3 \phi \right) R dz, \\ \langle l, \phi \rangle = \int_{\Omega} f_0 \phi r dr dz, \quad \forall \psi, \phi \in \Phi, \quad \forall s, g \in S, \\ \langle \lambda, g \rangle = \int_0^L (P_1 v + P_3 y + m_1 \xi + m_3 \zeta) R dz. \end{cases}$$

Тут E, ν – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона; ρ – густина матеріалу оболонки; ρ_0, c – густина рідини та швидкість поширення звуку в рідині. Детальний опис постановки початково-крайової задачі акустичної взаємодії та відповідної їй варіаційної задачі наведено в [3]. Звідти ж запозичено вживані позначення.

III. ПРОЕКЦІЙНО-СІТКОВА СХЕМА

Для розв'язування варіаційної задачі (1) запропоновано проекційно-сіткову схему, яка передбачає напівдискретизацію Гальоркіна [3] за просторовими змінними з використанням апроксимацій методу скінченних елементів, та однокрокову рекурентну схему дискретизації варіаційної задачі в часі [4].

Використання матричних позначень допускає таке алгебричне подання проекційно-сіткової схеми:

Задано $\Delta t, \beta, \theta = \text{const} > 0$, та вектори $(\Psi^j, S^j) \in R^N \times R^N$,

знайти вектор $(\Psi^{j+1}, S^{j+1}) \in R^N \times R^N$ такий, що

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} \ddot{M}_F + \frac{1}{2} \Delta t^2 \beta A_F & -\frac{1}{2} \Delta t B \\ \frac{1}{2} \Delta t B^T & M_S + \frac{1}{2} \Delta t^2 \beta A_S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi^{j+\frac{1}{2}} \\ S^{j+\frac{1}{2}} \end{pmatrix} = \\ & -\frac{1}{2} \Delta t \begin{pmatrix} \dot{A}_F & 0 \\ \dot{K} & A_S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi^j \\ S^j \end{pmatrix} + \frac{1}{2} \Delta t \begin{pmatrix} \dot{L} \\ \dot{J} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi^j \\ S^j \end{pmatrix} \quad j = 0, \dots, N_T \\ & + \begin{pmatrix} \ddot{M}_F + \frac{1}{2} \Delta t^2 (\beta - \theta) A_F & 0 \\ 0 & M_S + \frac{1}{2} \Delta t^2 (\beta - \theta) A_S \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi^j \\ S^j \end{pmatrix} \\ & + \begin{pmatrix} \dot{M}^{j+1} & \dot{K}^{j+1} & \dot{L}^{j+1} & \dot{J}^{j+1} \\ \dot{S}^{j+1} & \dot{B}^{j+1} & \dot{C}^{j+1} & \dot{D}^{j+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi^j \\ S^j \end{pmatrix} \end{aligned}$$

IV. РЕЗУЛЬТАТИ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Обчислення виконано для таких значеннях вхідних даних: матеріал оболонки – алюміній з механічними характеристиками $E = 7 \cdot 10^{10} \text{ Па}$, $\rho = 2.7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\nu = 0.3$, геометричні розміри $R = 1.5 \text{ м}$, $L = 3 \text{ м}$, $h = 0.03 \text{ м}$. Розрахунки проведено для випадку заповнення оболонки водою ($\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$, $c = 1500 \text{ м/с}^2$). Гідроударна хвиля породжується імпульсом $Q = Q(t)$, прикладеним до зовнішньої поверхні поршня. Форма імпульсу задана функцією Куранта.

У цьому випадку гранична умова на Γ_V набуває такого вигляду

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \Psi}{\partial n} = v_n(t^*), \quad \text{де } v_n(t^*) = \begin{cases} \frac{Q(t^*)}{m}, & t^* < T_1 \\ 0, & t^* \geq T_1 \end{cases}$$

Тут використано безрозмірну величину часу – $t^* = tR/c_1$, де c_1 – швидкість поширення поздовжньої хвилі в оболонці. $T_1 = 0.5$ – час дії навантаження, $Q_0 = 1.5 \text{ Н}$.

На рис. 2 наведено розподіл поля тиску в рідині в різні моменти часу. Бачимо, що оболонка суттєво впливає на форму гідроударної хвилі в рідкому наповнювачі. По-перше, відбувається зменшення тиску рідини на гребені ударної хвилі біля поверхні контакту з оболонкою, зумовлене радіальними зміщеннями оболонки, по-друге, як наслідок, за фронтом ударної хвилі формується хвиля розрідження, спричинена коливаннями оболонки. Отже, хвильовий процес у рідині породжує зміщення оболонки, які, у свою чергу, впливають на розподіл поля тиску в рідині.

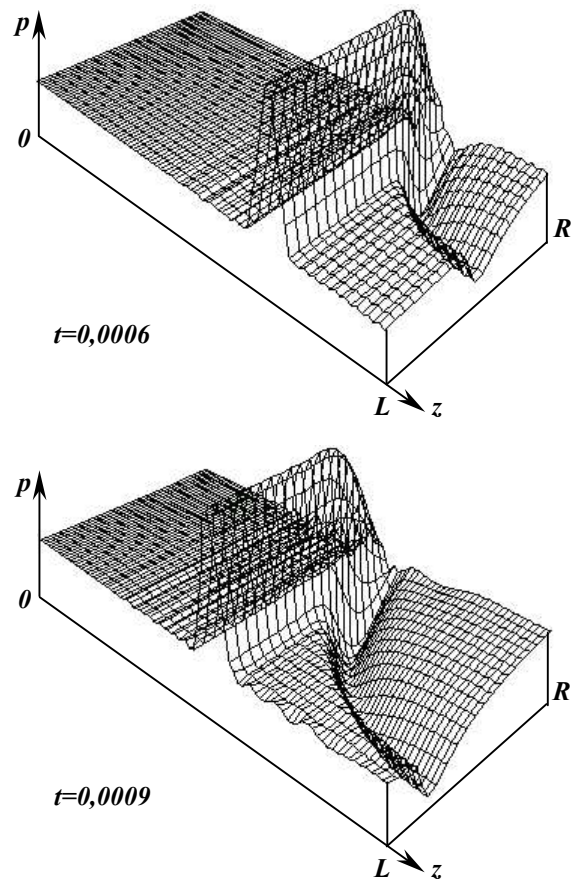


Рис. 2. Розподіл поля тиску в рідині у фіксовані моменти часу.

V. ВИСНОВКИ

Отже, сформульовано початково-крайову та відповідну їй варіаційну задачу акустичної взаємодії циліндричної оболонки з рідиною у випадку осесиметричного навантаження. Побудовано проєкційно-сіткову схему для розв'язування варіаційної задачі взаємодії двох середовищ. Досліджено вплив оболонки на поширення акустичної хвилі в рідкому наповнювачі. Встановлено, що використання уточненої теорії оболонок дозволяє ефективніше моделювати поширення хвиль в рідині за використаного типу навантаження.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] І. Є. Бернакевич, Г. А. Шинкаренко, "Вплив циліндричної оболонки на поширення ударної хвилі в рідкому наповнювачі," Вісн. Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ, Вип. 1, С.13-20, 1999.
- [2] І. Є. Бернакевич, П. П. Вагін, І. Я. Козій, "Скінченно-елементне розв'язування задач теорії оболонок, податливих до зсувів та стиснення," Прикладні проблеми механіки і математики, Вип. 16, С.98-106, 2018.
- [3] І. Є. Бернакевич, П. П. Вагін, Г. А. Шинкаренко, "Математична модель акустичної взаємодії оболонки з рідиною: I. Формулювання і розв'язуваність варіаційних задач," Матем. методи та фіз.-мех. поля, 45, № 2, С.75-80, 2002.
- [4] Г. А. Шинкаренко, Проекційно-сіткові методи розв'язування початково-крайових задач. Київ, Україна: НМКВО, 1991.

Using Architectures – Transformers for Object Detection in Image Processing

Bohdan Blagitko, Dmytro Myronyuk

Dept. of Radiophysics and Computer Technologies

Ivan Franko National University of Lviv

Lviv, Ukraine

blagitko@gmail.com, myronyukdmytro@gmail.com

Igor Zajachuk

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics National Academy of Sciences of Ukraine.

Lviv, Ukraine

igorzajach@gmail.com

Використання Архітектур – Трансформерів для Виявлення Об'єктів при Обробці Зображень

Богдан Благітко, Дмитро Миронюк

кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій

Львівський національний університет імені Івана

Франка

Львів, Україна

blagitko@gmail.com, myronyukdmytro@gmail.com

Ігор Заячук

Інститут прикладних проблем механіки і математики
імені Я. Підстригача НАН України

Львів, Україна

igorzajach@gmail.com

Abstract — Modern methods of object detection in the process of image recognition using transformer technology are analyzed. The various methods' advantages and disadvantages are identified. An own network creates based on the DETR transformer from the FAIR team. Its operations analysis.

Анотація — Проаналізовано сучасні методи виявлення об'єктів в процесі розпізнавання зображень за допомогою технології трансформера. Означено переваги та недоліки різних методів. Створено власну мережу на основі трансформера DETR від FAIR team, проаналізовано його роботу.

Keywords— *mathematical modeling; image recognition; object detection; transformer*

Ключові слова— *математичне моделювання; розпізнавання зображень; виявлення об'єктів; трансформер*

I. INTRODUCTION

One of the main tasks of computer technologies is the search and selection of objects in the image. The based on two-stage method approaches are dominant here: first, the main properties of the image are selected, which is the basis for further work. The second stage is regression, which in turn is responsible for the selected image properties classification and the selection of

the corresponding zone. The advantages of this type of architecture are their accuracy on objects of different sizes, sufficient stability of the system, and good speed. However, it is not sufficient for modern detection systems. This disadvantage is especially evident when used in systems based on mobile and less powerful devices. Such architectures of neural networks do not make it possible to realize object detection with sufficient speed. It affects the overall algorithms speed. Examples of such architectures as Fast-RCNN and Faster-RCNN are given in [1]. One-step systems based on the YOLO detection algorithm [2]. It can be considered an improvement of object detection systems, which have become a fast and fairly accurate solution for working on less powerful platforms in recent years. Unlike two-stage systems, this algorithm uses image zoning in one pass (by dividing it into squares and working with them separately). The object determination per zone is carried out by estimating the distance from the center of each square to the object zone if the anchor is superimposed on the entire image. The selection and assessment of the best areas for finding objects is carried out in this way. The YOLOv4 architecture [2] has gone through 7 generations of improvements and is one of the main ones for object detection on mobile platforms as of 2022.

The next logical step was an attempt to use architectures - transformers, which have proven themselves very well as the

main tool of modern word processing. One such approach is partial transformers, which are essentially two-level networks. If the necessary properties of the images are extracted at the first level, then at the next stage, they are divided into zones and encoded using a network - an encoder. The coded image is passed through the network - a decoder is a reverse operation to determine the object. An example of such a network is DETR (DEtection TRansformer) from Facebook AI research [3,4].

II. TRANSFORMER NETWORK OPERATION PRINCIPLE FOR OBJECT DETECTION

The DETR approach used for research in this paper can be divided into the following blocks:

6. Highlighting property maps (Backbone). The initial stage processing is a convolutional neural network common to many schemes, which transforms the input image into property maps with much less information.

7. The encoder is an architecture-transformers basic part. At the initial stage, multiplication with 1x1 convolution takes place to reduce the color dimension of the maps and further convolution to a single-channel scheme. It is required to synchronize the input with the encoder that expects the sequence as input. Each level of the encoder has a standard architecture and consists of a self-monitoring module with several heads and a forward communication network (FFN). The transformer architecture is invariant to permutations. The fixed positional encodings supplement it and add to each layer input.

8. The decoder is an architecture-transformers basic part, in pairing an encoder. The decoder follows the standard transformer architecture, converting N embeddings of size d using multi-headed encoder-decoder access mechanisms. The model decodes N objects in parallel at each level of the decoder.

9. A fully connected network is for class prediction and placement. The final prediction is computing using a 3-layer perceptron with a ReLU activation function, a hidden dimension d, and a linear projection layer. The fully connected network predicts the normalized coordinates of the center, height, and width of each of the N-bounding rectangles of the input image.

10. The linear layer predicts the class label using a softmax function. We assume a fixed-size set of N bounding rectangles, where N is usually much larger than the actual number of objects of interest in the image. An additional label of the special class \emptyset used to indicate that no objects are detected. Such a class denotes "background" in classic convolutional architectures.

III. LEARNING THE TRANSFORMER MODEL, DATA, AND LEARNING PROCESS PARAMETERS

The object detection technique based on deep learning has many applications in everyday life [5]. A proprietary dataset containing 300 images of 4 categories trained for object recognition. It uses to train the neural network model. Table 1 is the data set of general characteristics.

TABLE I. CHARACTERISTICS OF THE TRAINING DATA SET.

#	Characteristic	Value
---	----------------	-------

1	The number of training images	300 + 30 (training and validation dataset)
2	The number of classes	4
3	Augmentation	yes (rotations, affine transformations, scaling)
4	The size	224x224 RGB

Standard pre-trained models use for training on the ImageNet Mathematical and Computer Modeling dataset. The standard models' package provides by the FAIR team along with the raw code of the DETR approach for the PyTorch framework. The validation data set photos use during testing also. The main advantage of that library over others is that models in PyTorch have dynamic computational graphs. So, we change our computational graph without recompilation.

The training performs uses of the Anaconda multi-purpose machine learning platform. The Python language is off base. The training and model fine-tuning, notebook on an Intel processor, and Nvidia GTX 1050 GPU used as a base. The controller for the prototype Raspberry Pi 4 is used as the main. It uses an ARM-architecture-based CPU with four cores and includes all peripherals for using it as a "brain" of robotic systems.

IV. LEARNING RESULTS

As a result of the operation of the implemented network — the transformer, 59% of objects on flat images in the form of photographs of 224*224 pixels were detected.

CONCLUSION

The test results of the trained models are satisfactory, although they are far from real-time recognition.

REFERENCES

- [1] Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick, and Jian Sun. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. arXiv: 2016.1506.01497v3 [cs.CV] 6 Jan 2016. P. 1-14. URL: <https://arxiv.org/pdf/1506.01497.pdf>.
- [2] Chien-Yao Wang, Alexey Bochkovskiy, Hong-Yuan Mark Liao. ScaledYOLOv4: Scaling Cross Stage Partial Network. arXiv: 2011.08036v2 [cs.CV] 22 Feb 2021. P. 1-10. URL: <https://arxiv.org/pdf/2011.08036.pdf>.
- [3] Carion N., Massa F., Synnaeve G., Usunier N., Kirillov A., Zagoruyko S. End-to-end Object Detection with Transformers. arXiv: 2005.12872v3 [cs.CV] 28 May 2020. P. 1-26. URL: <https://arxiv.org/pdf/2005.12872.pdf>.
- [4] DETR: End-to-End Object Detection with Transformers. URL: <https://github.com/facebookresearch/detr>.
- [5] Goodfellow I., Bengio Yo., Courville A. Deep Learning. An MIT Press Book. MIT Press. 2016. 716 p.

Зважена псевдоінверсія з виродженими знаковезначеними вагами

Варениук Наталія
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
nvareniuk@ukr.net

Білоус Максим
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
maksbilous@ukr.net

Тукалевська Нелля
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
Tukalevska@nas.gov.ua

Weighted pseudoinversion with indefinite singular weights

Vareniuk Nataliia
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
nvareniuk@ukr.net

Bilous Maksym
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
maksbilous@ukr.net

Tukalevs'ka Nellia
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
Tukalevska@nas.gov.ua

Анотація— Досліджено зважені псевдообернені матриці з виродженими знаковезначеними вагами. Визначено необхідні й достатні умови існування й єдиності цих матриць. Наведено означення зважених псевдообернених матриць із знаковезначеними виродженими вагами в термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, що симетризуються. Отримано розвинення зважених псевдообернених матриць із змішаними вагами в матричні степеневі ряди і добутки, граничні представлення цих матриць. Наведено методику побудови регуляризованих ітераційних процесів для обчислення зважених псевдообернених матриць, що базується на розвиненні зважених псевдообернених матриць в матричні степеневі ряди і добутки

Abstract— A weighted pseudoinverse matrix with singular indefinite weights is defined and investigated. Theorems of the existence and uniqueness of these matrices are provided. Weighted pseudoinverses with indefinite weights are represented

in terms of coefficients of characteristic polynomials of symmetrizable matrices. The decompositions of weighted pseudoinverse matrices into matrix power series and products and their limit representations are obtained. Regularized iterative methods are constructed for their calculation.

Ключові слова— зважені псевдообернені матриці, вагові матриці, матриці з індефінітними вагами, матриці з виродженими вагами, матричні степеневі ряди і добутки, граничні представлення матриць, регуляризовані алгоритми.

Keywords— weighted pseudoinverse matrices with singular indefinite weights, matrix power series, matrix power products, singular indefinite weights, expansions of the weighted pseudoinverse matrices, iterative processes.

1. ВСТУП

Дослідження зважених псевдообернених матриць проводилося у [1-3]. Визначення зваженої псевдооберненої

матриці з виродженими вагами та дослідження різних варіантів псевдообернених матриць із виродженими вагами наведено в [4, 5]. У [6] введено поняття ML -зваженої псевдооберненої матриці. У [7, 8] досліджуються зважені псевдообернені матриці з невиродженими вагами. Представлення зважених псевдообернених матриць зі змішаними ваговими матрицями через псевдообернені матриці Мура-Пенроуза і через інші псевдообернені матриці наведено в [9]. Розвинення зважених псевдообернених матриць зі змішаними вагами в матричні степеневі ряди й добутки проводилося в [10]. Аналіз впливу збурення вхідних даних на розв'язки задач обчислення псевдообернених матриць і нормальних псевдорозв'язків проведено в [11, 12]. Для задач з додатно-визначеними вагами автори використовували зважене сингулярне розвинення матриць з додатно-визначеними вагами. В [13 та ін.] розглядається зважене сингулярне розкладання кватерніонної матриці.

У даній роботі наведено результати досліджень зваженої псевдооберненої матриці з виродженими законевизначеними вагами.

2. ПОЗНАЧЕННЯ, ВИЗНАЧЕННЯ

Позначимо через \square^n n -вимірний векторний простір над полем дійсних чисел, де вектори суть матриці розміру $n \times 1$. Нехай H – симетрична додатно-означена, додатно-напіввизначена, або ж законевизначена матриця. В \square^n введемо скалярний добуток за формулою $(u, v)_H = (Hu, v)_I$, де $(u, v)_I = u^T v$, I – одинична матриця. Якщо метрична матриця H додатно-означена або додатно-напіввизначена, то нормуємо простір \square^n , поклавши $\|u\|_H = (u, u)_H^{1/2}$. В першому випадку функція $\|u\|_H$ буде визначати норму, а в другому – напівнорму.

Визначимо зважену норму прямокутної матриці із симетричними невиродженими ваговими матрицями. Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $H = H^T \in \square^{m \times m}$ і $V = V^T \in \square^{n \times n}$ – невироджені матриці. Для множини матриць A норму введемо співвідношенням

$$\begin{aligned} \|A\|_{HV} &= \sup_{x \neq 0} \frac{\|AVx\|_{H^2}}{\|x\|_I} = \sup_{x \neq 0} \frac{\|HAVx\|_{I_m}}{\|x\|_I} = \\ &= \sup_{x \neq 0} \frac{(VA^T H^2 AVx, x)_{I_m}^{1/2}}{\|x\|_I}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $x \in \square^n$, а нижній індекс при одиничній матриці означає її розмірність.

Функція (1) є узагальненою нормою матриці A і визначається за формулою

$$\|A\|_{HV} = [\lambda_{\max}(VA^T H^2 AV)]^{1/2}, \quad (2)$$

де $\lambda_{\max}(L)$ – максимальне власне значення матриці L .

Із (2) випливає, що при $H = I_m$, $V = I_n$ функція (1) визначає звичайну спектральну норму матриці A .

Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $H = H^T \in \square^{m \times m}$ та $V = V^T \in \square^{n \times n}$ – вироджені матриці. Нехай виконуються умови

$$\text{rank}(HA) = \text{rank}(A), \quad \text{rank}(AV) = \text{rank}(A). \quad (3)$$

Тоді виконується рівність $\text{rank}(VA^T H^2 AV) = \text{rank}(A)$ і матриця $VA^T H^2 AV$ є симетричною додатно-напіввизначеною. Можна показати, що мають місце наступні леми.

Лема 1. Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $H = H^T \in \square^{m \times m}$ і $V = V^T \in \square^{n \times n}$ – вироджені матриці і виконуються умови (3). Тоді функція (1) є адитивною (узагальненою) матричною нормою.

Лема 2. Нехай $A \in \square^{m \times p}$, $B \in \square^{p \times n}$, а $H \in \square^{m \times m}$, $V \in \square^{n \times n}$, $M \in \square^{p \times p}$ – симетричні вироджені матриці і виконується одна з умов

$$AMM_H^+ = AM_H^+M = A, \quad MM_H^+B = M_H^+MB = B,$$

тоді мають місце співвідношення $\|AB\|_{HV} \leq \|A\|_{HM} \|B\|_{M_H^+V}$, $\|AB\|_{HV} \leq \|A\|_{HM_H^+} \|B\|_{MV}$,

де M_H^+ – псевдообернена матриця Мура-Пенроуза до матриці M .

Лема 3. Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $B \in \square^{m \times m}$ і $C_H^+ \in \square^{n \times n}$ – вироджені законевизначені симетричні матриці та виконуються умови

$$\text{rank}(A^T BA) = \text{rank}(A), \quad \text{rank}(AC_H^+ A^T) = \text{rank}(A),$$

тоді виконується умова $\text{rank}(A^T BAC_H^+ A^T) = \text{rank}(A)$.

Лема 4. Нехай для квадратних матриць K, L, M виконуються умови $KM=MK, LM=ML$. Тоді з рівності $KM^2 = LM^2$ випливає рівність $KM = LM$.

Означення 1. Квадратну матрицю U будемо називати такою, що симетризується зліва або справа за допомогою симетричних додатно-напіввизначених матриць M і N , якщо виконуються відповідно умови: $MU = U^T M$, $\text{rank}(MU) = \text{rank}(U)$; $UN = NU^T$, $\text{rank}(UN) = \text{rank}(U)$.

Означення 2. Матрицю Q будемо називати H -зваженою ортогональною (ортогональною з вагою H), якщо виконується умова $Q^T H Q = I$, де H – симетрична додатно-означена матриця.

Означення 3. Матрицю Q , що визначається рівністю $Q^T H Q = I(H)$, де H – симетрична додатно-напіввизначена матриця, $I(H)$ – матриця інерції для H ,

будемо називати H -зваженою псевдоортогональною або псевдоортогональною з вагою H .

При розвиненні зважених псевдообернених матриць в матричні степеневі ряди й матричні степеневі добутки, важливе значення буде мати наступна лема.

Лема 5. Матриця $L \in \square^{n \times n}$, яка симетризується зліва додатно-напіввизначеним симетризатором $H \in \square^{n \times n}$ при виконанні умови $H_{II}^+ HL = L$ зводиться до діагональної форми за допомогою G -зваженого ортогонального перетворення, тобто існують такі невідроджені матриці U і G , $U^T GU = I$, що $U^T GLU = \Lambda$, $U^T HLU = \Lambda$, а матриця L записується у вигляді $L = U \Lambda U^T G$, де $G = QD^2 Q^T$, Q – ортогональна матриця, яка діагоналізує матрицю H , тобто $Q^T HQ = \Phi$, $\Phi = DI(H)D = \text{diag}(\varphi_i)$, $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_r > 0$, $\varphi_{r+1}, \dots, \varphi_n = 0$ – власні значення матриці H , r – ранг матриці H , $D = \text{diag}(\sqrt{\varphi_1}, \dots, \sqrt{\varphi_r}, I, \dots, I)$, $I(H)$ – матриця інерції для H . Стовпці матриці U утворюють лінійно незалежну систему власних векторів матриці L , а діагональні елементи матриці Λ є відповідними власними значеннями матриці L .

Наслідок 1. Нехай $F = L + \delta I$, де матриця L задовольняє умовам леми 5, а δ – числовий параметр, тоді матриця F буде симетризованою зліва симетризатором H і для матриці F мають місце формули вигляду

$$U^T GF^k U = (\Lambda + \delta I)^k, \quad U^T HF^k U = (\Lambda + \delta I)^k,$$

$$F^k = U(\Lambda + \delta I)^k U^T G, \quad k = 1, 2, \dots,$$

а для випадку невідродженої матриці F маємо

$$U^T GF^{-k} U = (\Lambda + \delta I)^{-k}, \quad U^T HF^{-k} U = (\Lambda + \delta I)^{-k},$$

$$F^{-k} = U(\Lambda + \delta I)^{-k} U^T G, \quad k = 1, 2, \dots,$$

де матриці G, H, U визначено в лемі 5.

Наслідок 2. Нехай матриця $L \in \square^{n \times n}$ задовольняє умову $LH_{II}^+ H = L$, тоді $L = LG^{-1}H$, де матриці G, H визначено в лемі 5.

Лема 6. Для $\forall (P + \delta I)^{-k} \in \square^{n \times n}$ та $\forall W \in \square^{n \times m}$ і дійсного числа $-\infty < \delta < \infty$ має місце тотожність
$$\prod_{k=0}^{n-1} \{I + \delta^{2^k} (P + \delta I)^{-(2^k)}\} (P + \delta I)^{-1} W = \sum_{k=1}^{2^n} \delta^{k-1} (P + \delta I)^{-k} W,$$
 $n = 1, 2, \dots$

Лема 7. Для $\forall (L + \delta I)^{-k} \in \square^{m \times m}$ та $\forall M \in \square^{n \times m}$ і дійсного числа $-\infty < \delta < \infty$ має місце тотожність

$$M(L + \delta I)^{-1} \prod_{k=0}^{n-1} \{I + \delta^{2^k} (L + \delta I)^{-(2^k)}\} = M \sum_{k=1}^{2^n} \delta^{k-1} (L + \delta I)^{-k},$$

$$n = 1, 2, \dots$$

3. ТЕОРЕМА ІСНУВАННЯ ТА ЄДИНОСТІ

Нехай $A \in \square^{m \times n}$, $X \in \square^{n \times m}$, а $B \in \square^{m \times m}$ й $C \in \square^{n \times n}$ – симетричні знаконевизначені вироджені матриці. Зважену псевдообернену матрицю до матриці A визначимо як матрицю X , що задовольняє систему матричних рівнянь

$$AXA = A, \quad XAX = X, \quad (BAX)^T = BAX, \quad (CXA)^T = CXA. \quad (4)$$

Встановлено необхідні і достатні умови існування єдиного розв'язку системи матричних рівнянь (4), а також отримано подання зваженої псевдооберненої матриці з індефінітними виродженими вагами в термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, що симетризуються.

Теорема 1. Для того, щоб система (4) мала єдиний розв'язок $X = A_{BC}^+$, необхідно і достатньо, щоб виконувалися умови

$$\text{rank}(A^T BA) = \text{rank}(A), \quad \text{rank}(AC_{II}^+ A^T) = \text{rank}(A),$$

$$AC_{II}^+ C = A, \quad (5)$$

причому матриця A_{BC}^+ задовольняє умови (4), (5) і вона може бути подана у вигляді

$$A_{BC}^+ = C_{II}^+ S A^T B, \quad (6)$$

де $S = f(A^T B A C_{II}^+)$ – многочлен від матриці $A^T B A C_{II}^+$ вигляду $S = -\alpha_k^{-1} [(A^T B A C_{II}^+)^{k-1} + \alpha_1 (A^T B A C_{II}^+)^{k-2} + \dots + \alpha_{k-1} I]$, α_p , $p = 1, \dots, n$ – коефіцієнти характеристичного многочлена $f(\lambda) = \det[\lambda E - A^T B A C_{II}^+]$, а α_k – останній, відмінний від нуля коефіцієнт цього многочлена, C_{II}^+ – псевдообернена матриця Мура-Пенроуза до матриці C .

Наслідок 3. Зважена псевдообернена матриця із знаконевизначеними виродженими вагами, що записується системою матричних рівнянь (4) при виконанні умов (5), може бути також записана у наступному вигляді

$$A_{BC}^+ = S_1 C_{II}^+ A^T B = C_{II}^+ A^T B S_2 = C_{II}^+ A^T S_3 B,$$

де S_1, S_2, S_3 многочлени від матриць, що симетризуються, вигляду

$$S_1 = -\alpha_k^{-1} [(C_{II}^+ A^T B A)^{k-1} + \alpha_1 (C_{II}^+ A^T B A)^{k-2} + \dots + \alpha_{k-1} I],$$

$$S_2 = -\alpha_k^{-1} [(A C_{II}^+ A^T B)^{k-1} + \alpha_1 (A C_{II}^+ A^T B)^{k-2} + \dots + \alpha_{k-1} I],$$

$$S_3 = -\alpha_k^{-1} [(B A C_{II}^+ A^T)^{k-1} + \alpha_1 (B A C_{II}^+ A^T)^{k-2} + \dots + \alpha_{k-1} I].$$

Наслідок 4. Ідемпотентні матриці $A_{BC}^+ A$ й AA_{BC}^+ , які симетризуються, можуть бути записані у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} A_{BC}^+ A &= C_{II}^+ S A^T B A = f(C_{II}^+ A^T B A) = \\ &= -\alpha_k^{-1} [(C_{II}^+ A^T B A)^k + \alpha_1 (C_{II}^+ A^T B A)^{k-1} + \dots + \alpha_{k-1} (C_{II}^+ A^T B A)] \\ AA_{BC}^+ &= AC_{II}^+ S A^T B = f(AC_{II}^+ A^T B) = -\alpha_k^{-1} [(AC_{II}^+ A^T B)^k + \\ &+ \alpha_1 (AC_{II}^+ A^T B)^{k-1} + \dots + \alpha_{k-1} (AC_{II}^+ A^T B)] . \end{aligned}$$

Наслідок 5. Із (6) випливають рівності $A^T B A A_{BC}^+ = A^T B$, $A_{BC}^+ A C_{II}^+ A^T = C_{II}^+ A^T$.

Наслідок 6. При $rank(A) = I$ отримаємо формулу $A_{BC}^+ = [tr(A^T B A C_{II}^+)]^{-1} C_{II}^+ A^T B$ для обчислення зважених псевдообернених матриць зі знаконевизначеними виродженими вагами, де $tr(L)$ – слід матриці L .

Зауваження 1. Відзначимо, що в [5] встановлено, що умови $rank(BA) = rank(A)$, $AC_{II}^+ C = A$ є необхідними й достатніми умовами існування єдиного розв'язку системи матричних рівнянь (4), коли вагові матриці додатно-напіввизначені.

4. РОЗВИНЕННЯ ЗВАЖЕНИХ ПСЕВДООБЕРНЕНИХ МАТРИЦЬ У МАТРИЧНІ СТЕПЕНЕВІ РЯДИ Й ДОБУТКИ

Обґрунтуємо розвинення зважених псевдообернених матриць зі змішаними вагами в матричні степеневі ряди й матричні степеневі добутки. Для цього будемо використовувати твердження, які наведено у розділі II. Нехай обидві вагові матриці симетричні, але одна з них додатно-напіввизначена, а друга – вироджена знаконевизначена. Для цих випадків також виконуються твердження Теорема 1, оскільки вони є частинними випадками (5), (6).

Нехай C – додатно-напіввизначена, а B – вироджена знаконевизначена. Тоді має місце теорема.

Теорема 2. Для довільної матриці $A \neq 0 \in \square^{m \times n}$, симетричної знаконевизначеної виродженої матриці $B \in \square^{m \times m}$, симетричної додатно-напіввизначеної матриці $C \in \square^{n \times n}$ й дійсного числа δ , що задовольняє умову $0 < |\delta| < \frac{1}{2} \mu(C_{II}^+ A^T B A)$, мають місце співвідношення

$$A_{BC}^+ = \sum_{k=1}^{\infty} \delta^{k-1} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-k} C_{II}^+ A^T B, \quad (7)$$

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,p}^+\|_{G^2 V} \leq |\delta|^p (\mu(C_{II}^+ A^T B A) - |\delta|)^{-p} \|A_{BC}^+\|_{G^2 V}, \quad (8)$$

де A_{BC}^+ – зважена псевдообернена матриця, що задовольняє умови (5) та $rank(A^T B A) = rank(A)$, $AC_{II}^+ C = A$, $V = V^T \in \square^{m \times m}$ – довільна не вироджена матриця, $\mu(L) = \min\{|\lambda| : \lambda \neq 0 \in \sigma(L)\}$, λ_i – власні значення

матриці $C_{II}^+ A^T B A$, G визначено в лемі 5,

$$A_{\delta,p}^+ = \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-k} C_{II}^+ A^T B, \quad p = 1, 2, \dots$$

При виконанні припущень Теорема 2 і у силу (7) та лемі 6 маємо наступний розклад зваженої псевдооберненої матриці зі знаконевизначеною симетричною виродженою ваговою матрицею $B \in \square^{m \times m}$ й додатно-напіввизначеною матрицею $C \in \square^{n \times n}$ в матричний степеневий добуток

$$\begin{aligned} A_{BC}^+ &= \\ &= \prod_{k=0}^{\infty} \{I + \delta^{2^k} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-(2^k)}\} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} C_{II}^+ A^T B \quad (9) \end{aligned}$$

Позначимо

$$\begin{aligned} A_{\delta,n}^+ &= \prod_{k=0}^{n-1} \{I + \delta^{2^k} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-(2^k)}\} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} C_{II}^+ A^T B \\ n &= 1, 2, \dots \quad (10) \end{aligned}$$

Тоді в силу лемі 6 і оцінки (8) одержимо

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,n}^+\|_{G^2 V} \leq \delta^{2^n} (\mu(C_{II}^+ A^T B A) - |\delta|)^{-(2^n)} \|A_{BC}^+\|_{G^2 V}. \quad (11)$$

З оцінки (8) випливає, що для $\forall p = 1, 2, \dots$ маємо граничне представлення зваженої псевдооберненої матриці

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-k} C_{II}^+ A^T B, \quad (12)$$

а з оцінки (11) для $\forall n = 1, 2, \dots$ маємо

$$\begin{aligned} A_{BC}^+ &= \lim_{\delta \rightarrow 0} \prod_{k=0}^{n-1} \{I + \delta^{2^k} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-(2^k)}\} \times \\ &\times (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} C_{II}^+ A^T B. \quad (13) \end{aligned}$$

Нехай матриця B – додатно-напіввизначена, а C – вироджена знаконевизначена. Отримаємо розвинення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (4) при виконанні умови

$$B_{II}^+ B A = A, \quad rank(AC_{II}^+ A^T) = rank(A), \quad AC_{II}^+ C = A. \quad (14)$$

Теорема 3. Для довільної матриці $A \neq 0 \in \square^{m \times n}$, симетричної додатно-напіввизначеної матриці $B \in \square^{m \times m}$, симетричної знаконевизначеної виродженої матриці $C \in \square^{n \times n}$ й дійсного числа δ , що задовольняє умову $0 < |\delta| < \frac{1}{2} \mu(AC_{II}^+ A^T B)$, мають місце співвідношення

$$A_{BC}^+ = \sum_{k=1}^{\infty} \delta^{k-1} C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-k}, \quad (15)$$

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,p}^+\|_{HG^{-\eta_2}} \leq |\delta|^p (\mu(AC_{II}^+ A^T B) - |\delta|)^{-p} \|A_{BC}^+\|_{HG^{-\eta_2}}, \quad (16)$$

де A_{BC}^+ – зважена псевдообернена матриця, що задовольняє умови (4), (14), $\mu(L)$ визначено в Теоремі 2,

$$A_{\delta,p}^+ = \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-k}, \quad p = 1, 2, \dots, \quad \lambda_i -$$

власні значення матриці $AC_{II}^+ A^T B$, $H = H^T \in \square^{n \times n}$ – будь-яка невідроджена матриця, G визначено в лемі 5.

При виконанні припущень Теорема 3 у силу (4) і (15) маємо наступне розвинення зваженої псевдооберненої матриці з додатно-напіввизначеною симетричною ваговою матрицею $B \in \square^{m \times m}$ й знаконевизначеною симетричною виродженою ваговою матрицею $C \in \square^{n \times n}$ в матричний степеневий добуток

$$A_{BC}^+ = C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1} \times \\ \times \prod_{k=0}^{\infty} \{I + \delta^{2^k} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-(2^k)}\} \quad (17)$$

Позначимо

$$A_{\delta,n}^+ = C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1} \prod_{k=0}^{n-1} \{I + \delta^{2^k} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-(2^k)}\}$$

$n=1, 2, \dots$. Тоді в силу (4) і співвідношення (17) одержимо

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,n}^+\|_{HG^{-\eta_2}} \leq \delta^{2^n} (\mu(AC_{II}^+ A^T B) - |\delta|)^{-(2^n)} \|A_{BC}^+\|_{HG^{-\eta_2}}. \quad (18)$$

З оцінки (16) випливає, що для $\forall p = 1, 2, \dots$ маємо наступне граничне представлення зваженої псевдооберненої матриці

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} C_{II}^+ A^T B \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-k}, \quad (19)$$

а з оцінки (18) для $\forall n = 1, 2, \dots$ маємо

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1} \times \\ \times \prod_{k=0}^{n-1} \{I + \delta^{2^k} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-(2^k)}\} \quad (20)$$

Із граничних представлень (12), (13), (19), (20) зважених псевдообернених матриць випливає, що при досить малому параметрі δ матриці A_{BC}^+ , $A_{\delta,p}^+$ й $A_{\delta,n}^+$ можуть як завгодно мало відрізнятись одна від одної. На основі запропонованих граничних представлень можна обчислювати наближення до зважених псевдообернених матриць. Оцінки близькості

зважених псевдообернених матриць і їх наближених значень визначаються за формулами (8), (11), (16), (18).

5. ІТЕРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ЗВАЖЕНИХ ПСЕВДООБЕРНЕНИХ МАТРИЦЬ

Наведемо методу побудови регуляризованих ітераційних процесів для обчислення зважених псевдообернених матриць, що базується на розвиненні зважених псевдообернених матриць у матричні степеневі ряди й добутки, отримані у п. IV.

Нехай C – симетрична додатно-напіввизначена, а B – симетрична знаконевизначена вироджена. Побудуємо ітераційний процес для обчислення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (4) при виконанні умов теорема 2.

Розглянемо розвинення (7) зважених псевдообернених матриць у матричний степеневий ряд. Покладемо

$$X_k = \sum_{i=1}^k \delta^{i-1} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-i} C_{II}^+ A^T B.$$

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$X_0 = 0, \quad X_k = \delta (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} X_{k-1} + \\ = (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} (\delta X_{k-1} + C_{II}^+ A^T B), \quad k = 1, 2, \dots \quad (21)$$

Оцінка близькості k -го наближення до A_{BC}^+ за формулами (21) визначається за формулою (8) при $p = k$.

Використаємо розвинення (9) зваженої псевдооберненої матриці в матричний степеневий добуток, на основі якого покладемо

$$X_k = \prod_{i=0}^{k-1} \{I + \delta^{2^i} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-(2^i)}\} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} C_{II}^+ A^T B.$$

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$X_0 = (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-1} C_{II}^+ A^T B,$$

$$X_k = \{I + \delta^{2^{k-1}} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-(2^{k-1})}\} X_{k-1} = \\ = X_{k-1} + \delta^{2^{k-1}} (C_{II}^+ A^T B A + \delta I)^{-(2^{k-1})} X_{k-1}, \quad k = 1, 2, \dots \quad (22)$$

Оцінка близькості k -го наближення за формулами (22) до A_{BC}^+ визначається за формулою (11), де $n = k$.

Нехай матриця B – додатно-напіввизначена, а C – симетрична знаконевизначена вироджена. Побудуємо ітераційний процес для обчислення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (4) при виконанні умови (14).

Розглянемо розвинення (15) зважених псевдообернених матриць у матричний степеневий ряд. Покладемо

$X_k = C_{II}^+ A^T B \sum_{i=1}^k \delta^{i-1} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-i}$. Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$\begin{aligned} X_0 &= 0, X_k = \delta X_{k-1} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1} + \\ &+ C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1} = \\ &= (\delta X_{k-1} + C_{II}^+ A^T B) (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1}, k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (23)$$

Оцінка близькості k -го наближення за формулами (23) до A_{BC}^+ визначається за формулою (16), де слід покласти $p = k$.

Використовуємо розвинення (17) зваженої псевдооберненої матриці в матричний степеневий добуток, на основі якого покладемо

$$X_k = C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1} \prod_{i=0}^{k-1} \{I + \delta^{2^i} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-(2^i)}\}$$

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$\begin{aligned} X_0 &= C_{II}^+ A^T B (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-1}, \\ X_k &= X_{k-1} \{I + \delta^{2^{k-1}} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-(2^{k-1})}\} = \\ &= X_{k-1} + \delta^{2^{k-1}} X_{k-1} (AC_{II}^+ A^T B + \delta I)^{-(2^{k-1})}, k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (24)$$

Оцінка близькості k -го наближення за формулами (24) до A_{BC}^+ визначається за формулою (18), де слід прийняти $n = k$.

6. ВИСНОВКИ

В роботі отримано регуляризовані ітераційні процеси для обчислення зважених псевдообернених матриць зі змішаними ваговими матрицями. Із отриманих оцінок випливає, що похибка наближення залежить від кількості ітерацій і параметра δ . Очевидно, що параметр δ необхідно вибирати, по можливості, найменшим. Але його величина обмежується у бік зменшення необхідною точністю обчислення обернених матриць $C_{II}^+ A^T B A + \delta I$ і $AC_{II}^+ A^T B + \delta I$. Таким чином, залишається відкритим питання узгодження параметра δ з кількістю ітерацій для отримання необхідної точності наближеного розв'язку. При розв'язанні прикладних задач вихідні дані, як правило, задаються з похибкою. Крім того, похибку у розв'язку вносять помилки заокруглення. Отже, необхідно узгоджувати параметр δ , кількість ітерацій, величину похибки вихідних даних і похибок заокруглення для отримання необхідної точності наближеного розв'язку регуляризованими ітераційними методами. Це питання є

важливим, оскільки обчислення псевдообернених матриць належить до класу некоректних задач (немає неперервної залежності розв'язку задач від зміни вихідних даних). Тому значна кількість праць присвячена дослідженню впливу збурення вхідних даних на розв'язок задач обчислення псевдообернених матриць і нормальних псевдорозв'язків. Регуляризовані ітераційні процеси для обчислення зважених псевдообернених матриць з додатно-напіввизначеними ваговими матрицями, що базуються на розвиненні цих матриць в матричні степеневі ряди і добуток, було розглянуто в [14-16].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [6] Chipman J.S. On least squares with insufficient observation. J. Amer. Statist. Assoc. 1964. Vol. 59, N 308, P. 1078 – 1111.
- [7] Milne R.D. An oblique matrix pseudoinverse. SIAM J. Appl. Math. 1968. Vol. 16, N 5, P. 931 – 944.
- [8] Ward J.F., Boullion T.L., Lewis T.O. A note on the oblique matrix pseudoinverse. SIAM J. Appl. Math. 1971. Vol. 20, N 2, P. 173 – 175.
- [9] Ward J.F., Boullion T.L., Lewis T.O. Weighted pseudoinverses with singular weights. SIAM J. Appl. Math. 1971. Vol. 21, N 3. P. 480 – 482.
- [10] Галба Е.Ф., Дейнека В.С., Сергиенко І.В. Взвешенные псевдообратные матрицы и взвешенные нормальные псевдорешения с вырожденными весами. Журн. вычислит. математики и мат. физики. 2009. Т. 49, № 8. С. 1347 – 1363.
- [11] Mitra S.K., Rao C.R. Projections under seminorms and generalized Moore-Penrose inverses. Linear Algebra and Appl. 1974. 9. P. 155-167.
- [12] Rao C.R., Mitra S.K. Generalized Inverse of Matrices and its Applications. Wiley, New York, 1971.
- [13] Варенюк Н.А., Галба Е.Ф., Сергиенко І.В., Химич А.Н. Взвешенная псевдоинверсия с индефинитными весами. Укр. мат. журн. 2018. 70, № 6. С. 752–772.
- [14] Галба Е.Ф., Варенюк Н.А. Представление взвешенных псевдообратных матриц со смешанными весами через другие псевдообратные матрицы. Кибернетика и системный анализ. 2018. № 2. С. 17–25.
- [15] Галба Е.Ф., Варенюк Н.А. Розкладання зважених псевдообернених матриць зі змішаними вагами в матричні степеневі ряди й добуток. Кибернетика й системний аналіз. 2019. № 5. С. 67-80.
- [16] Nikolaevskaya E. A. and Khimich A. N. Error estimation for a weighted minimum-norm least squares solution with positive definite weights. Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2009, 49. P. 409–417.
- [17] Khimich A. N. and Nikolaevskaya E. A. Reliability analysis of computer solutions of systems of linear algebraic equations with approximate initial data. Cybernetics and Systems Analysis, 2008. 44, № 6. P. 863–874.
- [18] Kyrchei, I. I. Weighted singular value decomposition and determinantal representations of the quaternion weighted Moore–Penrose inverse. Applied Mathematics and Computation. 2017. 309. P. 1-16.
- [19] Галба Е.Ф., Дейнека В.С., Сергиенко І.В. Разложения и многочленные предельные представления взвешенных псевдообратных матриц. Журн. вычислит. математики и мат. физики. 2007. Т. 47, № 5. С. 747 – 766.
- [20] Галба Е.Ф., Дейнека В.С., Сергиенко І.В. Итерационные методы высоких скоростей сходимости для вычисления взвешенных псевдообратных матриц и взвешенных нормальных псевдорешений с вырожденными весами. Журн. вычисл. математики. и мат. физики. 2005. Т. 45, № 10. С. 1731 – 1755.
- [21] Сергиенко І.В., Галба Е.Ф., Дейнека В.С. Необходимые и достаточные условия существования взвешенного сингулярного разложения матриц с вырожденными весами. Укр. мат. журн. 2015. Т. 67, № 3. С. 406 – 426.

Модифікація комп'ютерної розрахункової моделі реакторної установки ВВЕР-1000. Детальне моделювання термопар

Василь Бегун

Відділ Інтегрованих автоматизованих систем
спеціального призначення
Інститут проблем математичних машин та систем
НАНУ Київ, Україна
begunw@ukr.net

Артур Гашимов

Відділ Інтегрованих автоматизованих систем
спеціального призначення
Інститут проблем математичних машин та систем
НАНУ, Київ, Україна
arturgm@ukr.net

Modification of the computer computation model of the VVER 1000 reactor Unit. Detailed modeling of thermocouples

Vasilij Begun

Department of Integrated Automated Systems of Special Purpose
Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the NASU
Kyiv, Ukraine
begunw@ukr.net

Artur Hashymov

Department of Integrated Automated Systems of Special Purpose
Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the NASU
Kyiv, Ukraine
arturgm@ukr.net

Анотація—У статті розглядаються проблеми розробки/модернізації комп'ютерних розрахункових моделей реакторів ВВЕР-1000 для надійного визначення температурного критерію досягнення умов важкої фази аварії. На прикладі розробленої в коді Relap5/mod 3.2 комп'ютерної моделі ВВЕР-1000 розглянуто питання коректного моделювання термопар та дослідження особливостей реєстрації параметра температури на виході з активної зони в умовах фазового переходу в двофазний стан теплоносія.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, реакторна установка, ВВЕР-1000, важка аварія

Abstract—This paper considers the problems of development/modernization of computer computational models of VVER-1000 reactors for reliable determination of the temperature criterion for achieving the conditions of the severe phase of the accident. Using the example of the VVER-1000 computer model developed in the Relap5/mod 3.2 code, the issues of correct modeling of thermocouples and investigation of the features of registration of the temperature parameter at the exit from the core in the conditions of phase transition in the two-phase state of the coolant are considered.

Keywords: computer simulation, reactor plant, VVER-1000, severe accident

На даний час перед атомно-енергетичною галуззю України постають амбітні завдання підвищення безпеки ядерних установок, які отримали особливу актуальність

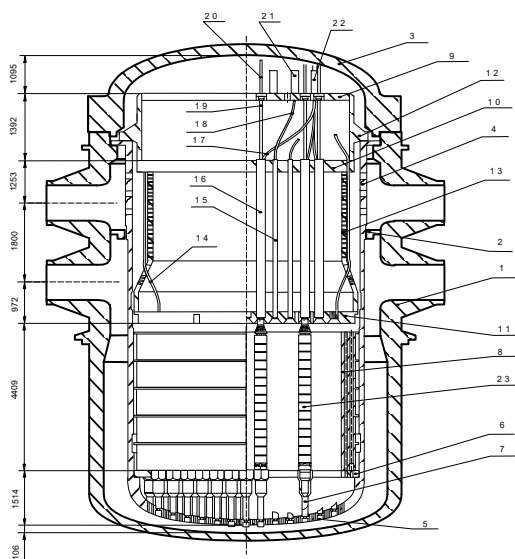
після аварії на АЕС Фукусіма. Підвищення безпеки АЕС потребують виконання науково-дослідних робіт з використанням комп'ютерного моделювання процесів в реакторній установці та оточуючим середовищі.

Однією з таких задач є визначення критерію переходу дій аварійного персоналу, в умовах за проектною аварії, від Інструкції з ліквідації аварій (ІЛА) до Керівництва з керування важкими аваріями (КУВА). Перехід до КУВА повинен відбуватися при досягненні умов пошкодження активної зони, тобто початку пошкодження палива. Основними критеріями які дозволяють визначити початок пошкодження активної зони є теплові та радіаційні – параметри температури або перегріву (температура теплоносія вище температури насичення) теплоносія та потужність дози в наслідок виходу продуктів поділу з ядерного палива при початку його пошкодження.

При виконання цих досліджень основну гостроту приймає необхідність забезпечення точності визначення вимірюваних параметрів при моделюванні. В даній доповіді розглядаються підходи до моделювання термопар в розрахунковій моделі.

Термопари в реакторній установці розташовані безпосередньо в зоні палива (зона де відбувається ядерна реакція та енерговиділення) та на виході з активної зони де теплоносієм змішується та поступає в циркуляційний трубопровід для подальшого транспортування в парогенератор. Термопари являють складну конструкцію,

що складається з безпосередньо термодетектору, захисної гільзи та захисної оболонки. Важливими для моделювання, з ціллю визначення критерію початку важкого пошкодження активної зони є наступні характеристики: геометричні характеристики, розташування в активній зоні, маса та матеріали елементів конструкції термопар. Важливість даних параметрів пояснюється особливими умовами перебігу запроектованої аварії, що супроводжується широким діапазоном зміни тиску та щільності теплоносія, внаслідок чого відбувається фазовий перехід з утворенням двофазного середовища та суттєво змінюється об'ємна теплоємність та витрата теплоносія. Особливістю розрахункового коду Relap5 є окремий розрахунок температури води та пари. Зміна об'ємної теплоємності та витрати теплоносія, при наявності власного термічного спротиву термопар, вимагають врахування цих параметрів та визначення взаємозв'язку температури палива в активній зоні та показань термопар для всього діапазону зміни параметрів в активній зоні.



1 – корпус реактора; 2 – роздільне кільце; 3 – кришка реактору; 4 – циліндрична перфорована обічайка шахти; 5 – еліптичне перфороване дно шахти; 6 – гранений пояс шахти з дистанційною решіткою; 7 – опорний стакан (опорна труба); 8 – вигорodka активної зони БЗТ; 9 – верхня (дистанціуюча решітка) плита БЗТ; 10 – середня плита БЗТ; 11 – нижня (опорна) плита БЗТ; 12 – упорний борт БЗТ; 13 – циліндрична перфорована обечайка БЗТ; 14 – чохол ТК або КНВ для периферійних вимірів в активній зоні; 15 – захисна труба системи ВРК; 16 – захисна труба СУЗ; 17 – чехол ТК; 18 – чехол КНВ; 19 – захисна труба СУЗ; 20 – штанга приводу СУЗ; 21 – стойка ЕВ; 22 – стойка ТК; 23 – ТВС (паливна касета)

Рис. 1 - Креслення (справа) РУ ВВЕР-1000

Рішення вищеприписаних задач вимагають застосування методів детального моделювання в комп'ютерній моделі та проведення низки розрахунків для валідації модернізованої моделі.

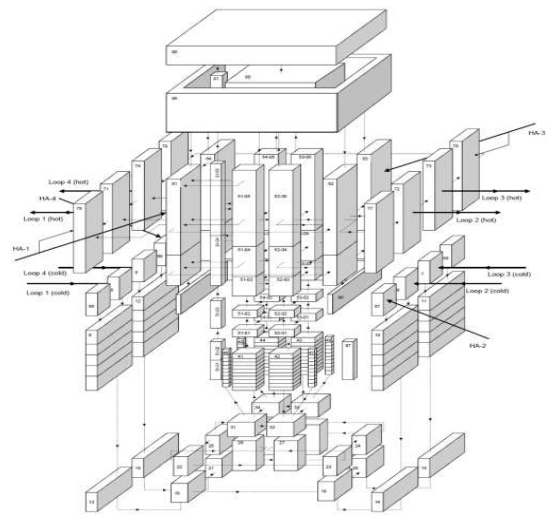


Рис. 2 - Модель РУ ВВЕР-1000

Модель РУ ВВЕР-1000 виконана в розрахунковому коді Relap5/Mod 3.2, який використовується для моделювання тепло-гідралічних процесів в РУ. Зважаючи на особливості моделювання активної зони для цілей аналізу проектних та за проектних аварій – активна зона моделюється функціонально – апроксимуючи активну зону 4-ма секторами в кожному з яких виділено об'єм з середнім по активній зоні енерговиділенням профільованим по висоті та об'єм, що моделює найбільш навантажену ТВЗ (касету ядерного палива з найбільшим енерговиділенням). Весь реактор моделюється об'ємами, що описують певний об'єм реакторної установки та взаємодіють між собою з'єднаннями, що мають параметри забезпечуючи реальні значення витрати теплоносія. Задача моделювання термопар, для умов ЗПА вимагає моделювання нового об'єму пов'язаного з об'ємом на виході з активної зони (по дві термопарі в кожному секторі) та окремі об'єми по висоті активної зони. Зв'язок термопар з об'ємами теплоносія виконується за допомогою теплових структур, що моделюють процеси тепло переносу. Модель термопарі має 5 радіальних та 1 аксіальний шар. Радіальні шари 1 та 2 моделюють захисну гільзу, шари 3 та 4 – чохол та шар 5 безпосередньо термопару. Також для коректного вимірювання температур необхідно моделювати окремий гідралічний об'єм для термопарі в нижній частині плити БЗТ.

Метою дослідження є визначення різниці між температурами теплоносія на виході з активної зони та показання термопарі для різних вихідних подій, визначення теплової інерції та теплового спротиву.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] IRSN. Nuclear Power Reactor Core Melt Accidents. Science and Technology Series.
- [2] Nuclear Safety in Light Water Reactors. Severe Accident Phenomenology. Support provided by the SARNET (Severe Accident Network) in the Framework Programmes of Research of the European Commission. Edited by Bal Raj Sehgal.

Методи гомогенізації для моделювання хвильових процесів у періодичних середовищах

Геннадій Сандраков
Факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Київ, Україна
gsandrako@mail.com

Homogenization methods for modeling wave processes in periodic media

Gennadiy Sandrakov
Faculty of Computer Science and Cybernetics
Taras Shevchenko National University of Kyiv
Kyiv, Ukraine
gsandrako@mail.com

Анотація— Будуть презентовані методи гомогенізації для моделювання хвильових процесів із демпфуванням у періодичних середовищах. Розглядаються періодичні середовища, утворені великою кількістю блоків з низькою проникністю і розділені пов'язаною системою розломів з високою проникністю. Враховується, що відповідні початково-крайові задачі для хвильових рівнянь із демпфуванням залежать від додаткових малих параметрів, що характеризують мікромасштабність, щільність та проникність таких середовищ. Будуть наведені аналітичні методи і алгоритми гомогенізації для визначення асимптотичних розв'язків та гомогенізованих задач, розв'язки яких визначають наближену асимптотику розв'язків задач для моделей хвильових процесів. Такі задачі мають вигляд початково-крайових задач для інтегро-диференціальних рівнянь зі згортками. Присутність згорток у рівняннях, які моделюють процеси у суцільних середовищах або матеріалах, називається ефектом пам'яті. Презентовані оцінки точності для наведених розв'язків, які дозволяють спростити чисельне розв'язання і комп'ютерне моделювання для таких хвильових процесів із демпфуванням.

Abstract— Homogenization methods for modeling wave processes with damping in periodic media will be presented. Periodic media formed by a large number of blocks with low permeability and separated by a connected system of faults with high permeability are considered. It is taken into account that the corresponding initial boundary value problems for wave equations with damping depend on additional small parameters characterizing the microscale, density, and permeability of such

Робота виконана за підтримки Міністерства освіти і науки України: Грант МОН України на перспективний розвиток наукового напрямку «Математичні науки та природничі науки» у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка.

media. Analytical methods and homogenization algorithms are given for determining asymptotic developments and homogenized problems, the solutions of which determine the approximate asymptotic solutions of problems for wave process models. Such problems have the form of initial boundary value problems for integro-differential equations with convolutions and damping. The presence of convolutions in equations that model processes in continuous media or materials is called the memory effect. Accuracy estimates for the given developments are presented, which allow to simplify the numerical solution and computer simulation for such wave processes with damping.

Ключові слова— хвильові рівняння; асимптотичні наближення; гомогенізовані задачі; задачі із демпфуванням.

Keywords— wave equations; asymptotic approximations; homogenized problems; problems with damping.

I. ПРОБЛЕМИ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

Моделювання хвильових процесів із демпфуванням зазвичай ґрунтується на чисельному розв'язуванні початково-крайових задач для хвильових рівнянь. Однак, такі методи не завжди можна застосовувати безпосередньо для моделювання процесів у середовищах із мікромасштабною періодичною структурою. Для розв'язання такої проблеми відомими фахівцями з обчислювальної математики I. Babuska, N. S. Bakhvalov, A. Bensoussan, J.-L. Lions та G. Papanicolaou був розроблений метод гомогенізації (осереднення). Відповідно до цього методу, наприклад, моделювання процесу теплопровідності у середовищі з такою структурою можна замінити на

моделювання процесу теплопровідності в однорідному (гомогенізованому) середовищі з гарантованою точністю [1, 2], що спрощує чисельне і комп'ютерне моделювання таких процесів.

Для середовищ, які складені із матеріалів з властивостями, що сильно розрізняються, такий підхід не завжди може бути реалізований, оскільки відповідні рівняння можуть залежати від додаткових малих параметрів. Крім того, важливою є геометрія розташування таких матеріалів. Присутність таких параметрів та різноманітної геометрії може ускладнити форми гомогенізованих задач та асимптотичних наближень для розв'язків. Такі проблеми та асимптотичні апроксимації для розв'язків параболічних задач з декількома малими параметрами були отримані та досліджувались у [3, 4], де зокрема були встановлені гомогенізовані задачі для інтегро-диференціального рівнянь зі згортками. Присутність згорток у рівняннях, які моделюють процеси у суцільних середовищах або матеріалах, називається ефектом пам'яті [5]. Асимптотичні розвинення для хвильових рівнянь без демпфування було наведено у [6], де можна знайти більш детальну інформацію та відповідні посилання. Теореми про точність асимптотичних наближень та гомогенізовані рівняння для апроксимації розв'язків аналогічних задач для параболічних рівнянь фільтрації були наведені у [7], де також можна знайти додаткові посилання.

II. ФОТОННІ КРИСТАЛИ ЯК ПЕРИОДИЧНІ СЕРЕДОВИЩА

Методи гомогенізації для моделювання хвильових процесів у періодичних середовищах, які складені із матеріалів з властивостями, що сильно розрізняються, актуальні щодо пористих середовищ, які розглядаються в [3, 4, 6, 7]. Відповідно до цих досліджень, такі методи гомогенізації можуть бути використані для розробки штучних пористих хвиле-поглинаючих середовищ, що може бути корисним для багатьох застосувань на практиці. Крім того, такі методи також актуальні при моделюванні хвильових процесів у фотонних кристалах.

За аналогією із звичайними кристалами фізики розробляють фотонні кристали, які використовуються у фотооптиці та є корисними для інших застосувань на практиці. Розуміння процесів у звичайних кристалах корисно, наприклад, при проектуванні комп'ютерів. Такі процеси моделюються на підставі рівняння Шредінгера. Як правило, звичайні кристали мають періодичну структуру, яка характеризується періодичністю потенціалу рівняння Шредінгера. За аналогією з такими періодичними кристалами фізики розробляють фотонні кристали, де поширюються світлові хвилі. Швидкість таких хвиль набагато вища, ніж швидкість хвиль у звичайних кристалах, і це може бути корисним для деяких застосувань на практиці. Періодичність фотонних кристалів є природною та технологічною, що використовується у виробництві таких кристалів. Дійсно, обравши комірку періодичності, можна продовжити комірку періодичним шляхом, так щоб отримати фотонний кристал, подібно до того, як стіни та площі покривають плиткою. Зазвичай таких комірок багато і кристал має два масштаби, які характеризують його характерний розмір і кількість комірок. Так виникають

початково-крайові задачі з двома масштабами, один із яких можна гомогенізувати як мікромасштаб. Є книги та підручники, де пропонується моделювати процеси в фотонних кристалах на підставі рівняння Шредінгера. Цей підхід не зовсім точний і прийнятний, оскільки світлові хвильові процеси моделюються рівняннями Максвелла, які утворюють систему рівнянь. Іноді, такі рівняння можна редукувати до хвильових рівнянь із демпфуванням, які суттєво відрізняються від рівнянь Шредінгера із періодичним потенціалом.

Таким чином, гомогенізація початково-крайових задач для хвильових рівнянь є актуальною проблемою. Результатом такої гомогенізації будуть асимптотичні наближення до розв'язків початково-крайової задачі для хвильового рівняння з демпфуванням, які визначаються на основі розв'язків гомогенізованої початково-крайової задачі для інтегро-диференціальних рівнянь зі згортками і деяких задач на комірках. Будуть також презентовані оцінки точності таких наближень, які дозволяють значно спростити чисельне розв'язання і комп'ютерне моделювання для таких процесів, оскільки гарантують точність наближення за малих параметрів мікромасштабності, щільності та проникності. Крім того, презентовані оцінки точності відображають появу осцилюючих доданків у розвиненні розв'язків цієї задачі, що характеризує суттєве поглинання енергії на частині із низькою проникністю, що може бути використане для проектування хвиле-поглинаючих середовищ.

Отже, при моделюванні хвильових процесів із демпфуванням у середовищах із періодичною структурою замість розв'язання складної початкової задачі (наприклад, чисельного) можна розв'язувати гомогенізовану задачу з гарантованою точністю для малих параметрів мікромасштабності, щільності та проникності. При детальному дослідженні таких гомогенізованих задач можна встановити, слідує [4], що спектр відповідного оператора цієї задачі має лакунарну структуру, розмір лакун якої залежить від співвідношень між параметрами мікромасштабності, щільності та проникності.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] A. Bensoussan, J.-L. Lions, G. Papanicolau, *Asymptotic analysis for periodic structures*. Amsterdam: North-Holland, 1978.
- [2] N. S. Bakhvalov, G. P. Panasenko, *Homogenization: averaging processes in periodic media*. Dordrecht: Kluwer, 1989.
- [3] G. V. Sandrakov, "The homogenization of nonstationary equations with contrast coefficients," *Dokl. Mathematics*, vol. 56:1, pp. 586-589, 1997.
- [4] G. V. Sandrakov, "Multiphase homogenized diffusion models for problems with several parameters," *Izvestiya: Mathematics*, vol. 71:6, pp. 1193-1252, 2007. 10.1070/IM2007v071n06ABEH002387
- [5] G. Duvaut, J.-L. Lions, *Les inequations en mecanique et en physique*. Paris: Dunod, 1972.
- [6] G. V. Sandrakov, "Modeling of wave processes in porous media and asymptotic expansions," *J. Numerical and Applied Mathematics*, vol. 2, pp. 132-142, 2022. 10.17721/2706-9699.2022.2.15
- [7] G. V. Sandrakov, S. I. Lyashko, V. V. Semenov, "Simulation of filtration processes for inhomogeneous media and homogenization," *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 59, pp. 212-230, 2023. 10.1007/s10559-023-00556-4

Електротермомеханічна взаємодія в ізотропній поляризованій пластині із тепловим включенням

Ольга Грицина

Відділ механіки, Інститут будівництва та архітектури
Словацької академії наук, Братислава, Словаччина;
Відділ математичного моделювання процесів переносу
в розподілених системах, Інститут прикладних проблем
механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН
України,
Львів, Україна, olha.hrytsyna@savba.sk

Мар'ян Грицина

Відділ механіки,
Інститут будівництва та архітектури
Словацької академії наук,
Братислава, Словаччина
maryan.hrytsyna@savba.sk

Electro-thermo-mechanical interaction in an isotropic polarized plate with thermal inclusion

Olha Hrytsyna

Department of Mechanics, Institute of Construction and
Architecture, Slovak Academy of Sciences, Bratislava,
Slovakia;
Department of Mathematical Modeling of Transfers
Processes in Distributed Systems, the Pidstryhach Institute
for Applied Problems of Mechanics and Mathematics,
National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine,
olha.hrytsyna@savba.sk

Maryan Hrytsyna

Department of Mechanics,
Institute of Construction and Architecture,
Slovak Academy of Sciences,
Bratislava, Slovakia
maryan.hrytsyna@savba.sk

Анотація — Локально градієнтну теорію неферромагнітних термопружних діелектриків використано для вивчення впливу електротермомеханічного зв'язку в неп'єзоелектричних пружних структурах. Ця неklasична теорія враховує вплив зміни мікроструктури матеріалу на зв'язані поля в діелектриках. Зміни мікроструктури матеріалу описуються неконвективним і недифузійним потоком маси і пов'язуються з процесом локального зміщення маси (ЛЗМ). У рамках цієї теорії досліджено зв'язані електромеханічні поля, індуковані тонким тепловим включенням в ізотропній пружній пластині. Вивчено вплив товщини теплового включення на механічні переміщення, напруженість електричного поля та поляризацію. Показано, що врахування ЛЗМ призводить до гладкого профілю механічних переміщень у пластині. Встановлено, що нерівномірний розподіл температури в неп'єзоелектричній пластині індукує електричне поле та спричиняє її поляризацію поблизу меж розділу теплового включення. Цей ефект вираженіший у мікротонких пластинках.

Abstract — A local gradient theory of nonferromagnetic thermoelastic dielectrics is used to study the electro-thermo-mechanical coupling effect in non-piezoelectric elastic structures. This non-classical theory takes into account the effect of changes in material microstructure on coupled fields in dielectrics. Such

changes in material microstructure are described by a non-convective and non-diffusive mass flux and are associated with the process of a local mass displacement (LMD). Within this theory, the coupled mechanical and electric fields induced by a thin thermal inclusion in an isotropic elastic plate are investigated. Numerical results for mechanical displacement, electric field vector and polarization are obtained for different values of thickness of thermal inclusion. It is shown that the effect of LMD makes the distribution of mechanical displacement smooth. It is also found that the non-uniform temperature distribution in non-piezoelectric plate induces the electric field and plate polarization localized close to the thermal inclusion interfaces. This effect is more pronounced for micro-thin plates.

Ключові слова — неklasична теорія; термопружні діелектрики; електротермомеханічний зв'язок розмірний ефект; термополяризаційний ефект.

Keywords — non-classical theory; thermoelastic dielectrics; electro-thermo-mechanical coupling; size effect; thermopolarization effect.

I. ВСТУП

Класична теорія п'єзоелектриків не описує низку спостережуваних явищ (флексоелектричний та термополяризаційний ефекти, поверхневі й розмірні явища тощо) та не

може пояснити електротермомеханічну взаємодію у центральносиметричних кристалічних матеріалах. Зазначені вище явища можна моделювати в рамках континуальної механіки, ґрунтуючись на співвідношеннях некласичних теорій діелектриків. Такі теорії описують ефекти далекодії або ж враховують вплив мікроструктури матеріалу на його макроскопічні властивості. До згаданого класу теорій належить локально градієнтна теорія діелектриків [1]. Принципова відмінність локально градієнтної електротермомпружності від інших теорій полягає у врахуванні процесу локального зміщення маси (ЛЗМ) та його зв'язку з механічною деформацією, поляризацією та теплопровідністю. Процес ЛЗМ пов'язується зі зміною мікроструктури матеріалу. Такі зміни мікроструктури можна спостерігати, для прикладу, у приповерхневих / приконтактних областях тіла. У рамках локально градієнтної теорії їх описують неконвективним і недифузійним потоком маси. Результатом такого урахування є градієнтного типу рівняння стану. Пропоноване дослідження має за мету показати, що локально градієнтна теорія діелектриків описує електротермомеханічну взаємодію полів у центральносиметричних матеріалах і є ефективною для дослідження термополяризаційного ефекту (поляризації тіла, зумовленої градієнтом температури).

II. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

Рівняння локально градієнтної електротермомеханіки неферромагнітних діелектриків сформульовані в низці публікацій та узагальнені у монографії [1]. Лінійна стаціонарна система рівнянь моделі включає балансові рівняння (рівняння балансу механічного імпульсу, ентропії та наведеної маси, закон Гауса), градієнтного типу визначальні співвідношення і кінетичні рівняння (співвідношення, які пов'язують вектор переміщення \mathbf{u} з тензором деформації, напруженість електричного поля \mathbf{E} з градієнтом електричного потенціалу ϕ_e , потік тепла з градієнтом температури). Порівняно з класичною теорією, розв'язувальна система рівнянь локально градієнтної пружності містить одне додаткове рівняння, пов'язане з урахуванням ЛЗМ. У випадку ідеальних діелектриків за відсутності дії масових сил і розподілених джерел тепла, для центральносиметричних кристалів ця система має вигляд:

$$C_{44}\Delta\mathbf{u} + (C_{12} + C_{44})\nabla(\nabla \cdot \mathbf{u}) - \gamma_T \nabla\theta - \alpha_m \nabla\bar{\mu}'_\pi = 0, \quad (1)$$

$$\Delta\theta = 0, \quad \chi_E \nabla \cdot \mathbf{E} - \rho_0 \chi_{Em} \Delta\bar{\mu}'_\pi = 0. \quad (2)$$

$$\chi_m \Delta\bar{\mu}'_\pi - d_\mu \bar{\mu}'_\pi - \alpha_m \rho_0^{-1} \nabla \cdot \mathbf{u} - \beta_{T\mu} \theta - \chi_{Em} \nabla \cdot \mathbf{E} = 0, \quad (3)$$

Тут ρ_0 – густина маси; $\theta = T - T_0$ – збурення температури T відносно початкового значення T_0 ; $\bar{\mu}'_\pi = \mu'_\pi - \mu$; μ – хімічний потенціал; μ'_π – енергетична міра впливу ЛЗМ на внутрішню енергію системи; C_{12} , C_{44} , γ_T , α_m , $\beta_{T\mu}$, d_μ , χ_E , χ_m , χ_{Em} – характеристики матеріалу [1].

Розглянемо нескінченну плоску ізотропну шарувату пластину завтовшки $2H$. Її зовнішні поверхні $y = \pm H$ защемлені, а всередині пластини поміщено тонке включення $|y| \leq h$. Вважаємо, що шар $|y| \leq h$ і області пластини $-H \leq y < -h$ та $h < y \leq H$ утримуються при постійній, але різній температурі. Відтак, розподіл температури в розглянутій структурі задається формулою:

$$\theta(y) = \theta_* [S(y+h) - S(y-h)] = \theta_* \begin{cases} 1, & -h < y < h, \\ 0, & \text{elsewhere.} \end{cases}$$

Тут $S(y)$ – одинична функція Хевісайда. Вектори механічного переміщення та електричного поля мають відмінні від нуля лише y -компоненти, тобто $\mathbf{u} = (0, u(y), 0)$ і $\mathbf{E} = (0, E(y), 0)$, а $\bar{\mu}'_\pi$ є функцією лише y -координати: $\bar{\mu}'_\pi = \bar{\mu}'_\pi(y)$. Для одномірної задачі розв'язувальна система рівнянь (1)–(3) набуває вигляду:

$$C_{i,yy} - \alpha_m \bar{\mu}'_{\pi,y} = \theta_* \gamma_T [\delta(y+h) - \delta(y-h)], \quad E_{,y} - \kappa_E^2 \bar{\mu}'_{\pi,yy} = 0$$

$$\bar{\mu}'_{\pi,yy} - \lambda_E^2 \bar{\mu}'_\pi - \frac{\lambda_E^2 \alpha_m}{\rho_0 d_\mu} u_{,y} = \theta_* \frac{\lambda_E^2 \beta_{T\mu}}{d_\mu} [S(y+h) - S(y-h)].$$

Тут $C = C_{12} + 2C_{44}$, $\lambda_E^2 = d_\mu / (\chi_m - \kappa_E \chi_{Em})$, $\kappa_E = \rho_0 \chi_{Em} / \varepsilon$.

Крайові умови на поверхнях пластини $y = \pm H$ й умови контакту на поверхнях $y = \pm h$ можна записати так: $u|_{y=\pm H} = 0$, $\phi_e|_{y=\pm H} = 0$, $\bar{\mu}'_\pi|_{y=\pm H} = -\mu_{\pi 0}$, $[u]_{y=\pm h} = 0$, $[\sigma_{yy}]_{y=\pm h} = 0$, $[\phi_e]_{y=\pm h} = 0$, $[\bar{\mu}'_\pi]_{y=\pm h} = 0$. Тут квадратні дужки позначають стрибок відповідної величини на поверхнях контакту.

Знайдено аналітичний розв'язок сформульованої крайової задачі математичної фізики. Одержано вирази для знаходження механічного зміщення, напруженості електричного поля, електричного потенціалу та поляризації у такій шаруватій структурі. Отримано результати числових досліджень для збурення електричного поля та механічних переміщень, зумовлених неоднорідним розподілом температури у пластині. При числових дослідженнях прийнято, що характеристики матеріалів теплового включення і решта областей пластини однакові.

III. ВИСНОВКИ

Із використанням розв'язувальної системи рівнянь локально градієнтної електротермомеханіки вивчено зв'язані електричні та механічні поля, індуковані тонким тепловим включенням у безмежній плоскій ізотропній поляризований пружній пластині. Показано, що механічні переміщення, зумовлені нерівномірним розподілом температури в тонкій пластині, можуть відрізнятися від переміщень, отриманих у рамках класичної теорії. Внаслідок врахування ЛЗМ та його взаємозв'язку з процесами деформування, теплопровідності й поляризації отримано гладкий профіль для механічних переміщень. Теплове включення у неп'єзоелектричній пластині може індукувати електричне поле та спричинити поляризацію структури в околі меж розділу теплового включення. У результаті цього на поверхнях $x = \pm h$ тонкого включення виникає наведений електричний заряд. Отже, використана тут математична модель описує термополяризаційний ефект і враховує електротермомеханічну взаємодію у тілах із високим рівнем симетрії кристалічної ґратки. Відтак, локального градієнтна теорія діелектриків може бути корисною в практичних застосуваннях, зокрема, при розроблянні нових мікророзмірних електротермомеханічних пристроїв, які зазнають дії температурних градієнтів, або ж функціонування яких ґрунтується на використанні термополяризаційного ефекту.

Робота виконана за фінансової підтримки Slovak Research and Development Agency й Міністерства освіти та науки України (білатеральний проект SK-UA-21-0010 та 0122U002392).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] O. Hrytsyna, V. Kondrat: Local Gradient Theory for Dielectrics: Fundamentals and Applications. 1st ed. Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2020.

Альтернативні моделі скінченних елементів з нерегулярним розташуванням вузлів

Петро Гучек
факультет інформаційних технологій
Економіко-гуманітарний університет в Варшаві
Варшава, Польща
phuchek@gmail.com

Олег Дудченко
кафедра ІТтаФМД
Херсонський ННІ НУК ім. адм. Макарова
Херсон, Україна
kbnuos@gmail.com

Олена Литвиненко
кафедра ІТтаФМД
Херсонський ННІ НУК ім. адм. Макарова
Херсон, Україна
mmkntu@gmail.com

Світлана Карпова
кафедра ІТтаФМД
Херсонський ННІ НУК ім. адм. Макарова
Херсон, Україна
kbnuos@gmail.com

Alternative models of finite elements with irregular arrangement of nodes

Petro Guchek
dept. of Information Technology
University of Economics and Human Sciences in Warsaw
Warsaw, Poland
phuchek@gmail.com

Oleg Dudchenko
dept. of Inf. Technologies and Physics and Mathematics
Kherson ESI of adm. Makarov NUS
Kherson, Ukraine
kbnuos@gmail.com

Olena Litvinenko
dept. of Inf. Technologies and Physics and Mathematics
Kherson ESI of adm. Makarov NUS
Kherson, Ukraine
mmkntu@gmail.com

Svitlana Karpova
dept. of Inf. Technologies and Physics and Mathematics
Kherson ESI of adm. Makarov NUS
Kherson, Ukraine
kbnuos@gmail.com

Анотація— Найбільш ефективним чисельним методом інженерного аналізу, який дозволяє якнайкраще оцінити напружено-деформований стан конструкції будь-якої форми та розміру, є метод скінченних елементів. Робота присвячена побудові мультиплексів з нерегулярним розташуванням вузлів та порівняння отриманих альтернативних моделей. Точність отриманих результатів порівнювалась з відомим в літературі рішенням прикладної задачі стаціонарного розподілу температури в квадратній пластині.

Abstract—The most effective numerical method of engineering analysis, which allows for the best assessment of the stress-strain state of a structure of any shape and size, is the finite element method. The work is devoted to the construction of multiplexes with an irregular arrangement of nodes and comparison of the obtained alternative models. The accuracy of the obtained results

was compared with the solution of the applied problem of stationary temperature distribution in a square plate known in the literature.

Ключові слова— метод скінченних елементів, базисні функції, скінченні елементи з нерегулярним розташуванням вузлів

Keywords— finite element method, basis functions, finite elements with irregular arrangement of nodes

I. ВСТУП

Метод скінченних елементів (МСЕ) на сьогоднішній день є основним методом структурного аналізу в низці областей науки і техніки. Створені на його основі комплекси програм для потужних ЕОМ широко використовуються в будівництві, кораблебудуванні,

аерокосмічній та автомобільній промисловості, акустиці, оптиці, медико-біологічних дослідженнях, розвідці корисних копалин, при вирішенні крайових завдань механіки суцільних середовищ та електромагнетизму.

Широке використання цього методу значною мірою пояснюється простою фізичною інтерпретацією його обчислювальних операцій, великою геометричною гнучкістю та застосуванням до широкого класу рівнянь з приватними похідними. Він дозволяє досить точно описати криволінійні межі області визначення розв'язку та крайові умови.

Таким чином, пошук альтернативних моделей скінченно-елементної апроксимації які б дозволили зменшити розмірність задачі та поліпшити обчислювальні властивості є досить актуальним питанням сьогодення.

Метою роботи є розробка альтернативних моделей скінчених елементів з нерегулярним розташуванням вузлів та тестування і порівняння отриманих результатів з точним рішенням [3].

II. ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

У роботі розглянуті мультиплекси з нерегулярним розташуванням вузлів (шість вузлів - чотири у вершинах квадрата і два розташовані довільно на сторонах квадрата (рис.1; 2))[1].

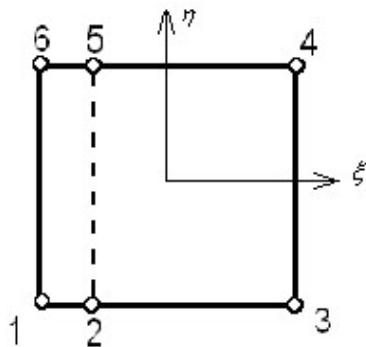


Рис.1. До побудови функції N_I (I модель) ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

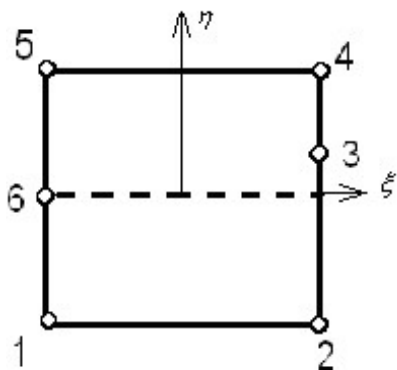


Рис.2. До побудови функції N_I (II модель) ($|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$)

Для побудови базису скінченного елемента (СЕ) у роботі використовувалося геометричне моделювання. При

геометричному моделюванні поліноміальна базисна функція конструюється з рівнянь поверхонь і площин, які проходять через задані точки. Для скінченного елемента (рис.1) отримано таку систему базисних функцій (I модель):

$$N_1 = -\frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1+3\xi) \quad (1)$$

$$N_2 = \frac{9}{16}(1-\xi)(1+\xi)(1-\eta) \quad (2)$$

$$N_3 = \frac{1}{16}(1+\xi)(1-\eta)(1+3\xi) \quad (3)$$

$$N_4 = \frac{1}{16}(1+\xi)(1+\eta)(1+3\xi) \quad (4)$$

$$N_5 = \frac{9}{16}(1-\xi)(1+\xi)(1+\eta) \quad (5)$$

$$N_6 = -\frac{1}{8}(1-\xi)(1+\eta)(1+3\xi) \quad (6)$$

Система базисних функцій для скінченного елемента (рис.2) (II модель):

$$N_1 = -\frac{1}{4}(1-\xi)(1-\eta)\eta \quad (7)$$

$$N_2 = \frac{3}{16}(1+\xi)(1-\eta)\left(\frac{1}{3}-\eta\right) \quad (8)$$

$$N_3 = \frac{9}{16}(1+\xi)(1-\eta)(1+\eta) \quad (9)$$

$$N_4 = -\frac{3}{8}(1+\xi)(1+\eta)\left(\frac{1}{3}-\eta\right) \quad (10)$$

$$N_5 = \frac{1}{4}(1-\xi)(1+\eta)\eta \quad (11)$$

$$N_6 = \frac{1}{2}(1-\xi)(1-\eta)(1+\eta) \quad (12)$$

Легко переконатися, що ці функції задовольняють основним властивостям базисних функцій [1].

При тестуванні отриманих базисів виявлено, що вони мають різні спектри вузлових навантажень рівномірної масової сили. Вузлова частка навантаження визначається подвійним інтегралом області скінченного елемента ω від відповідної базисної функції, зваженої з поверхневою щільністю γ [2].

$$P_i = \iint_{\omega} \gamma N_i(\xi_i; \eta_i) d\omega \quad (13)$$

$$\text{де } \gamma = \frac{1}{4}, (i = 1, 2, \dots, 6)$$

У задачах теплопровідності інтеграли типу (13) дають вузлові частки тепла внутрішнього джерела, що генерується в СЕ.

Спектри вузлових навантажень рівномірної масової сили для двох моделей наведено у табл.1.

TABLE I. СПЕКТРИ ВУЗЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

СЕ (рис. 1)	$P_1 = 0$	$P_2 = \frac{3}{8}$	$P_3 = \frac{1}{8}$	$P_4 = \frac{1}{8}$	$P_5 = \frac{3}{8}$	$P_6 = 0$
СЕ (рис.2)	$P_1 = \frac{1}{12}$	$P_2 = \frac{1}{8}$	$P_3 = \frac{3}{8}$	$P_4 = 0$	$P_5 = \frac{1}{12}$	$P_6 = \frac{1}{3}$

Перша та друга моделі СЕ (рис.1, 2) дають природний дискретний розподіл, який добре узгоджується з фізичною інтуїцією.

В якості іншого тесту для зіставлення властивостей моделей скінчених елементів з нерегулярним розташуванням вузлів використовується задача Діріхле для рівняння Лапласа:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2} = 0 \quad (14)$$

Нехай потрібно знайти стаціонарний розподіл температури в квадратній пластині, $|\xi| \leq 1$, $|\eta| \leq 1$ для якої задані наступні граничні умови (рис.3):

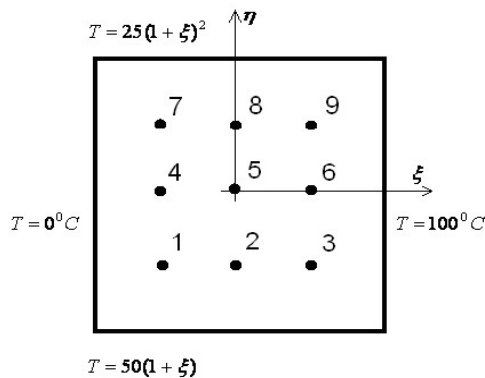


Рис.3. Для дослідження температурного поля пластини

У [3] це завдання вирішується методом сіток з 25 вузлами (9 внутрішніх). Система лінійних алгебраїчних рівнянь, вирішувалася методом Гаусса. Отримане прямим методом точне рішення досягається за 30 ітерацій методу одночасних зсувів, за 16 ітерацій методу Зейделя і за 9 ітерацій методу послідовної верхньої релаксації. Покажемо, що температурне поле пластини можна побудувати за допомогою лише одного мультиплексу. Цей прийом, дає істотний вигравш у часі в порівнянні з традиційною поелементною технікою методу скінчених елементів. Розрахунки виконувались за такою обчислювальною формулою:

$$T(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^6 T_i N_i(\xi, \eta), \quad (15)$$

де T_i - значення температури на границі, N_i - базисні функції СЕ.

TABLE II. ПОРІВНЯННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЧИСЕЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПЛАСТИНИ

Розрах. точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
СЕ (рис. 1)	22,65	41,47	72,65	20,31	43,75	65,44	14,06	40,63	63,28
СЕ (рис.2)	21	50	51,4	25	50	75	25	50	75
Точн. рішення	23,49	47,88	73,49	21,09	44,53	71,09	16,35	38,06	66,35

III. ВИСНОВКИ

В роботі представлено дві альтернативні моделі скінчених елементів з нерегулярним розташуванням вузлів, які отримані за допомогою геометричного моделювання. Проведено тестування отриманих моделей та порівняння результатів. Результати розрахунків показують (табл. 2), що цілком прийнятні результати дає перша модель (рис.1) СЕ з нерегулярним розташуванням вузлів. Для другої моделі (рис. 2) характерні нефізичні осциляції, що призводять до заниження температури в одних вузлах і завищення - в інших.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. - М. : Мир, 1979.
- [2] Хомченко А. Н., Литвиненко Е. И., Гучек П. И. Геометрия сирендиловых аппроксимаций //Прикл. геом. и инж. графика.- К.:Будівельник,1996.-Вып.59.-С.40-42.
- [3] Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. - М.: Мир, 1982.

Порівняння ефективності роботи математичних моделей штучного нейрона в залежності від їх функцій активації

Іван Денков
Абітурієнт до аспірантури в
Інститут кібернетики ім. В.М.
Глушкова
Київ, Україна
havoc85@gmail.com

Artificial neuron mathematical models efficiency comparison depending on activation function

Ivan Denkov
V.M.Glushkov Institute of
Cybernetics postgraduate studies
enrollee
Kyiv, Ukraine
havoc85@gmail.com

Анотація — В рамках дослідження штучних нейронних мереж дана робота присвячена порівнянню ефективності двох математичних моделей штучного нейрона, які займаються бінарною класифікацією лінійно роздільних множин та відрізняються між собою функцією активації.

Abstract — As a part of artificial neural networks study this paper is dedicated to efficiency comparison of two artificial neuron mathematical models with different activation functions which perform linearly separable dataset binary classification.

Ключові слова — штучні нейронні мережі, функція активації, перцептрон, бінарна класифікація, обчислювальний експеримент, гіперпараметри

Keywords — artificial neuron networks, activation function, perceptron, binary classification, computational experiment, hyperparameters

I. ВСТУП

Штучні нейронні мережі (далі – ШНМ) набули широкого розповсюдження: їх використання охоплює такі сфери як розпізнавання зображень, прийняття рішень у керуванні, кластеризація, апроксимація, прогнозування тощо. Власне ШНМ являють собою технологію, що базується на розробках в математиці, статистиці, нейрофізіології, фізиці, комп'ютерних науках та техніці [1].

Вперше поняття ШНМ було формалізоване американськими науковцями В. Маккалохом та В. Піттсом у 40-х рр. ХХ ст. [1]. Їхні дослідження широко обговорювалися в науковому співтоваристві, а подальші

розробки здійснювались як математиками, так і фізіологами та нейропсихологами. Зокрема важливим кроком була запропонована у 1958 р. Ф. Розенблаттом модель перцептрона. Окрім вже згаданих діячів вивченням ШНМ займалися Н. Вінер, Д. Хебб, Б. Відроу, М. Мінський, Т. Кохонен, Дж. Хопфілд, Д. Румельхарт та багато інших. Розвиток ШНМ відбувався нерівномірно, зокрема через те, що в певні періоди наявні технології не дозволяли реалізувати розроблену концепцію, але на даний момент широко використовуються, наприклад, як порівняно прості лінійні адаптивні фільтри [2], так і значно складніші ШНМ [3].

В основі адаптивної фільтрації лежить найпростіша ШНМ – перцептрон Розенблатта [1]. Ця нейронна мережа побудована на базі одного нейрона з налаштовуваними вагами та порогом. В даній роботі ми спробуємо порівняти ефективність роботи ШНМ залежно від використовуваної функції активації.

II. МЕТОДОЛОГІЯ

Основними методами роботи є обчислювальний експеримент та аналіз результатів. Для кожного параметра проводиться серія випробувань при різних його значеннях. Решта параметрів в цей час є фіксованою. Навчання виконується на навчальній підбірці, а ефективність перевіряється як на навчальній підбірці, так і на валідаційній. Також увагу приділено відтворюваності експерименту, аби читач міг повторити дослід і переконатись в його коректності, а також, можливо,

додати щось своє. Математичну модель реалізовано у системі комп'ютерної алгебри Mathcad.

III. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

В рамках нашого моделювання візьемо точки на координатній площині і побудуємо перцептрон, який відділятиме точки, які знаходяться у верхній напівплощині від тих, які знаходяться у нижній (Рис. 1). Попри очевидність розділу (лінія має вздовж осі Ox), даний вибір має певні переваги:

- 1) Експеримент легко відтворити
- 2) Правильність легко перевірити
- 3) Можна задавати множини як завгодно близькими одне до одного, ускладнюючи таким чином задачу лінійного розділу, себто класифікації

В подальшому цей дослід можна розширити на більш нетривіальні випадки.

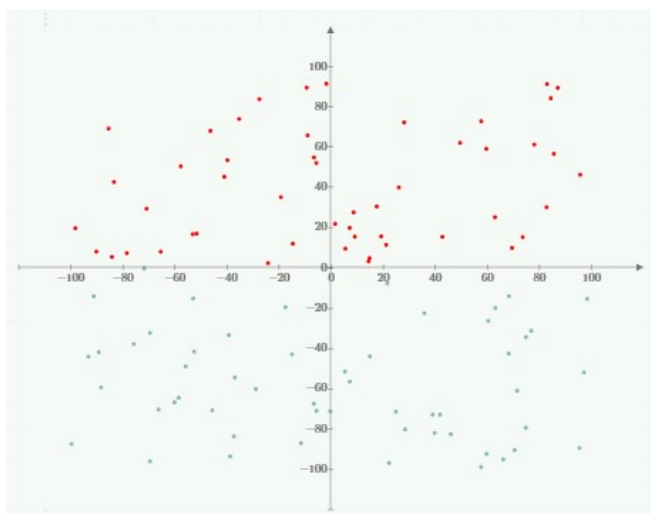


Рис. 1 Приклад лінійно роздільних множин, з якими працюватимуть наші ШНМ

Для даної задачі підійде найпростіший варіант нейронної мережі, яким і є перцептрон: одинарний нейрон з вагами та порогом, які навчаються (налаштовуються) в процесі. Цього достатньо, оскільки входів усього два (координати точок на площині), а бінарна класифікація передбачає, що вихід повинен бути один. В подальшому, для розв'язку складніших задач, можна масштабувати ШНМ, створивши одношарову систему з декількома виходами, що є досить тривіальним завданням [1]. Складніші ж багатшарові ШНМ поки знаходяться за межами наших поточних цілей. Модель ШНМ зображена на Рис. 2. w_1 та w_2 – вагові коефіцієнти, b – поріг.

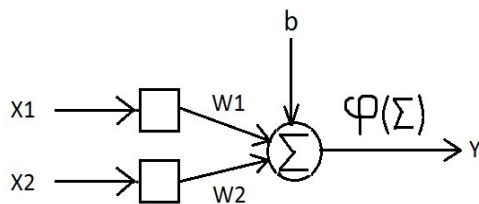


Рис. 2 Схема математичної моделі нейрона

Дана модель буде реалізована у двох варіантах, які відрізняються виключно функцією активації. У першому

випадку використаємо класичну для перцептрона Розенблатта порогову функцію (Рис. 3), а у другому модифікуємо нашу ШНМ і використаємо сигмоїду, а саме – логістичну функцію (Рис. 4).

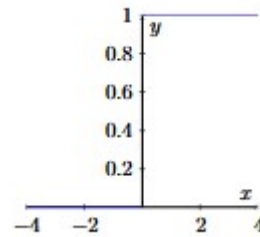


Рис. 3 Порогова активаційна функція нейрона

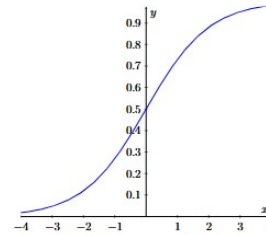


Рис. 4 Логістична активаційна функція нейрона
Порогова функція описується формулою:

$$\varphi(v) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } v \geq 0 \\ 0, & \text{якщо } v < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Формула сигмоїди:

$$\varphi(v) = \frac{1}{1 + e^{-av}}, \quad a > 0 \quad (2)$$

На вхід цих ШНМ ми подамо навчальну вибірку. Кожен елемент вибірки являє собою пару координат точки на площині. Покладемо, що координати точок по обох осях лежать в діапазоні від -100 до 100. Це не обмежить загальності нашого підходу, але спростить обчислення. Перед поданням на вхід навчального алгоритму ми маркуємо дані: точки, що лежать нижче осі Ox , тобто з від'ємною другою координатою позначимо нулем, а ті, що вище – одиницею. Для порогової функції це виглядатиме як на Рис. 5 (початкова підбірка) та 6 (маркована підбірка).

$X =$	[-43.836	71.113
		-26.873	80.061
		93.01	-95.077
		-97.885	-80.319
		21.317	8.702
		-2.064	-77.903
		-35.107	88.898
		31.4	-86.938
		40.145	-65.105
		-33.553	30.316
		-54.111	31.819
		24.345	52.236
		⋮]

Рис. 5 Навчальна підбірка, згенерована за допомогою генератора випадкових чисел

$X_{learn} =$	-43.836	71.113	1
	-26.873	80.061	1
	93.01	-95.077	0
	-97.885	-80.319	0
	21.317	8.702	1
	-2.064	-77.903	0
	-35.107	88.898	1
	31.4	-86.938	0
	40.145	-65.105	0
	-33.553	30.316	1
	-54.111	31.819	1
	24.345	52.236	1
			\vdots

Рис. 6 Маркована навчальна підбірка

У випадку логістичної функції потрібен додатковий крок – нормування вхідних даних, щоб вони знаходились у межах від -1 до 1. Якщо цього не зробити, то аргумент функції набуватиме досить великих значень, які потраплятимуть до ступіня експоненти, призводячи до громіздких обчислень. Тож для навчання ШНМ з сигмоїдою магіємо: вихідні дані (Рис. 7), нормовані дані (Рис. 8) та марковані дані (Рис. 9).

$X =$	-82.876	-82.718
	-78.971	-39.338
	5.2	-63.586
	-27.97	30.942
	81.938	-93.131
	-26.616	-65.996
	65.52	79.886
	27.816	92.565
	-12.459	64.592
	-94.827	97.208
	-95.882	32.733
	-13.771	17.447
		\vdots

Рис. 7 Згенерована навчальна підбірка до нормування

$X_{norm} =$	-0.829	-0.827
	-0.79	-0.393
	0.052	-0.636
	-0.28	0.309
	0.819	-0.931
	-0.266	-0.66
	0.655	0.799
	0.278	0.926
	-0.125	0.646
	-0.948	0.972
	-0.959	0.327
	-0.138	0.174
		\vdots

Рис. 8 Нормована навчальна підбірка

$X_{learn} =$	-0.829	-0.827	0
	-0.79	-0.393	0
	0.052	-0.636	0
	-0.28	0.309	1
	0.819	-0.931	0
	-0.266	-0.66	0
	0.655	0.799	1
	0.278	0.926	1
	-0.125	0.646	1
	-0.948	0.972	1
	-0.959	0.327	1
	-0.138	0.174	1
			\vdots

Рис. 9 Нормована навчальна підбірка після маркування

Способи модифікації вагових коефіцієнтів та порога також відрізняються. Так для типового перцептрона Розенблатта з пороговою функцією активації налаштування відбувається наступним чином [4],[5]:

$$w_i^k = w_i^{k-1} + \eta \cdot D \cdot x_i, \quad i = 1,2 \quad (3)$$

$$b^k = b^{k-1} + \eta \cdot D,$$

де k – номер ітерації (або елемента навчальної підбірки), i – номер вагового коефіцієнта та координати, що потрапляє на вхід даного синапсу, η – параметр швидкості навчання, а D – різниця між фактичними значеннями виходу нейрона та «зразком» (третій стовпець навчальної підбірки).

Для сигмоїди використаємо алгоритм оберненого розповсюдження помилки [1], а також корисну властивість логістичної функції:

$$\varphi'(v) = a \cdot \varphi(v) \cdot (1 - \varphi(v)) \quad (4)$$

і отримаємо

$$w_i^k = w_i^{k-1} + \eta \cdot D \cdot a \cdot \varphi(v) \cdot (1 - \varphi(v)) \cdot x_i, \quad i = 1,2$$

$$b^k = b^{k-1} + \eta \cdot D \cdot a \cdot \varphi(v) \cdot (1 - \varphi(v)) \quad (5)$$

Після навчання перевіряємо роботу ШНМ. В обох випадках подамо на вхід як навчальну підбірку, так і валідаційну, тобто іншу, яка не використовувалась під час навчання. За рахунок валідаційної підбірки отримуємо чистоту експерименту, за рахунок навчальної – без зайвих витрат отримуємо додаткову статистику. Оскільки використані вибірки не дуже великі, а епоха навчання (цикл проходження підбірки навчальним алгоритмом) одна, перенавчання малоімовірно, отже можна вважати повторне використання навчальної виборки виправданим.

Ефективність визначаємо шляхом підрахунку відсотка правильно розпізнаних елементів підбірки. Також можна скористатися візуальною інтерпретацією результатів. Згідно визначенню ШНМ поділ двох лінійно розділених множин відбувається по гіперплощині (в нашому двовимірному випадку – по прямій), що описується рівнянням

$$w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + b = 0 \quad (6)$$

Це рівняння можна подати в іншому вигляді:

$$x_2 = -\frac{w_1}{w_2} \cdot x_1 - \frac{b}{w_2} \quad (7)$$

Окремо зазначимо, що, знаючи отримані після навчання вагові коефіцієнти та поріг, можна одразу робити певні висновки стосовно того, чи коректно ШНМ визначатиме належність точки до однієї чи іншої множини. Як уже було сказано, пряма, що виконує розділення, має бути максимально наближеною до осі Ox , а це можливо, коли w_2 значно більше за модулем, ніж w_1 та b .

Далі відкладаємо значення x_1 вздовж осі Ox , а x_2 вздовж Oy , будуємо пряму, що описується у (7) і отримуємо щось подібне до Рис. 10.

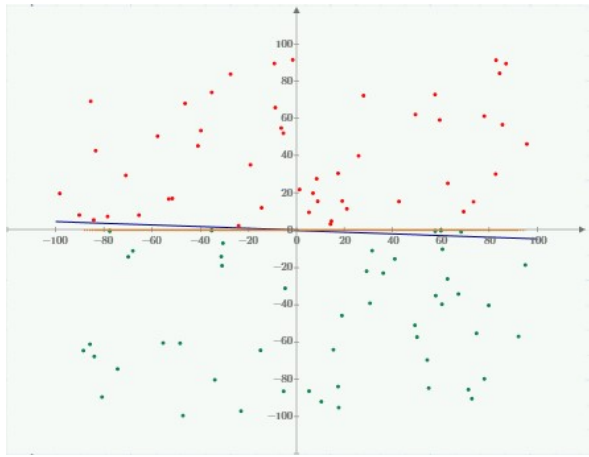


Рис. 10 Приклад роздільної прямої для виборки зі 100 елементів

В нашому досліді ми зосередимося на аналізі через підраховані відсотки, оскільки вже на підбірці з 1000 елементів (Рис. 11) графік стає менш зручним для візуальної інтерпретації, а на 10000 елементів (Рис. 12) – взагалі нечитабельним, навіть за умови збільшення масштабу.

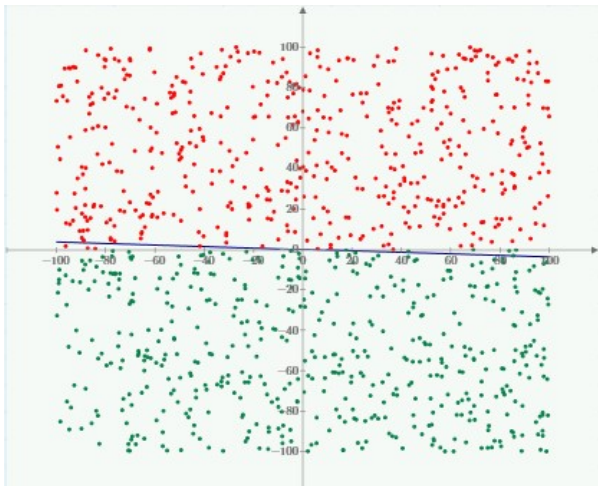


Рис. 11 Приклад роздільної прямої для виборки з 1000 елементів

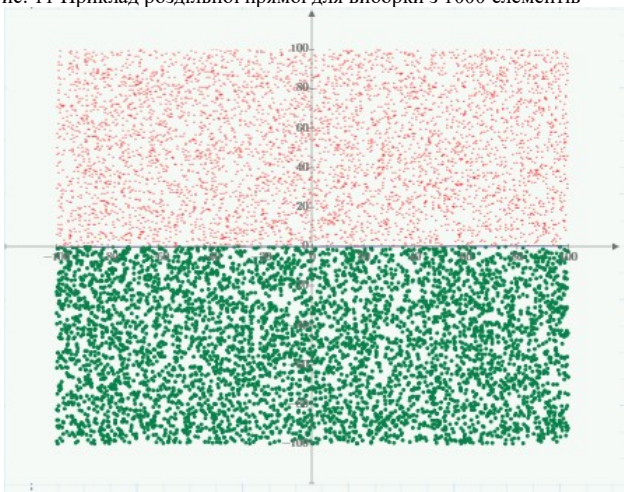


Рис. 12 Приклад роздільної прямої для виборки з 10000 елементів

IV. ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Перед тим, як перейти власне до випробувань, зробимо декілька зауважень. Є певні параметри ШНМ, які ми задаємо на початку. Це, по-перше, початкові

значення вагових коефіцієнтів і порогів: їх ініціалізація може впливати на процес навчання і подальшу ефективність навченої ШНМ. По-друге, параметри, які не змінюються під час навчання, які також називають гіперпараметрами. В нашому випадку це кількість елементів у навчальній підбірці, параметр швидкості навчання η та, у випадку логістичної функції, параметр a . Останній відповідає за кривизну сигмоїди: чим більших значень набуває a , тим ближче графік функції до «сходинки», як у порогової функції.

Враховуючи вищевказане, порівняльні випробування здійснюватимемо наступним чином:

1) Зафіксуємо значення кількості елементів у навчальній підбірці (100), швидкість навчання ($\eta=0,5$) та поріг ($b=0$). Експериментуємо зі значеннями вагових коефіцієнтів. Спочатку ініціалізуємо їх числами з верхньою межею у 100 (тобто, приблизно однаковий порядок зі значеннями вхідних даних), потім у 10, потім від 0 до 1 і наостанок спробуємо від'ємні ваги, залежно від того, в якому діапазоні попередні випробування дали найкращі результати.

2) Зафіксуємо вагові коефіцієнти (залежно від того, які на минулому етапі призвели до найкращого результату), швидкість навчання ($\eta=0,5$) та поріг ($b=0$). Порівнюємо ефективність ШНМ залежно від кількості елементів у навчальних виборках, збільшуючи кількість.

3) Зафіксуємо вагові коефіцієнти, кількість елементів у навчальній підбірці (залежно від попередніх результатів) та поріг ($b=0$). Перевіряємо різні значення η у межах від 0 до 1, поступово зменшуючи.

4) Зафіксуємо вагові коефіцієнти, кількість елементів у навчальній підбірці та швидкість навчання (залежно від попередніх результатів). Експериментуємо з ініціалізованим пороговим значенням, поступово збільшуючи його за модулем.

Оскільки параметр кривизни сигмоїди є актуальним тільки для другого перцептрона, то зафіксуємо його як $a=0,5$ і надалі не змінюватимемо в рамках нашого експерименту.

Кожного разу після навчання проводимо два тестових прогони, як на навчальній вибірці, так і на валідаційній. Враховуючи те, що в нас два варіанти ШНМ, для кожного набору параметрів має бути чотири результати.

Результати першого етапу наведено в Таблиці 1 (до речі, графік на Рис. 10 ілюструє ефективність алгоритму з пороговою активаційною функцією на навчальній вибірці при найбільших ініціалізованих значеннях вагових коефіцієнтів).

Можна побачити, що ефективність порогової функції майже не змінюється, а логістична значно покращує свою роботу зі зменшенням значень, якими ми ініціалізуємо вагові коефіцієнти, набуваючи прийнятної ефективності лише при вагах менших за 1 за модулем. Це відповідає рекомендаціям у різних джерелах, зокрема [1]. Таким чином, надалі ініціалізуватимемо вагові коефіцієнти значеннями у діапазоні від 0 до 1.

Результати другого етапу наведено в Табл.2.

Тут бачимо, по-перше, що обидві ШНМ демонструють приблизно однакову ефективність, а по-

друге, оптимальним розміром навчальної вибірки буде 1000 елементів: ефективність вища за випадок, коли у підбірці 100 елементів та трохи поступається ефективності навчання на 10000 елементів. Проте підбірка на 10000 елементів вимагає більше обчислювальних ресурсів, а покращення не таке значне і залежить від того, якою буде валідаційна підбірка, скільки в ній буде елементів, які мають великий ризик бути неправильно класифікованими (це точки, в яких координата x_1 набуває великих значень за модулем, а x_2 – малих).

Результати третього етапу наведено в Табл.3.

Чітко видно, що перцептрон з пороговою функцією активації демонструє стабільно високі результати за різних значень η , а ефективність ШНМ з сигмоїдальною функцією активації стабільно спадає, починаючи з $\eta=0,1$ і при подальшому зменшенні цього параметру. Отже доцільно використовувати значення $\eta=0,5$: по-перше, в такому випадку обидві ШНМ дають високу ефективність, по-друге, цей параметр не є завеликим і ми мінімізуємо ризик пропустити область, в якій параметри, що модифікуються в процесі навчання приймають оптимальні значення.

Результати четвертого етапу наведено в Табл. 4.

ШНМ з пороговою активаційною функцією демонструє максимальну ефективність, в той час, коли ШНМ з сигмоїдальною функцією вже на відносно малих значеннях b видає досить великий відсоток помилок, а зі збільшенням демонструє взагалі неприйнятні результати.

Таблиця 1 Ефективність (%) роботи ШНМ залежно від вагових коефіцієнтів при $b=0, \eta=0,5$ на 100 елементах у навчальній підбірці

Значення вагових коефіцієнтів		$w_1=90$ $w_2=70$	$w_1=6$ $w_2=8$	$w_1=0,9$ $w_2=0,5$	$w_1=-0,2$ $w_2=-0,5$
Порогова функція активації	Навчальна підбірка	97	97	97	98
	Валідаційна підбірка	99	99	99	100
Логістична функція активації	Навчальна підбірка	71	86	92	95
	Валідаційна підбірка	67	83	95	92

Таблиця 2 Ефективність (%) роботи ШНМ залежно від кількості елементів у навчальній підбірці при $b=0, \eta=0,5, w_1=0,3, w_2=0,4$

Кількість елементів у навчальній підбірці		100	1000	10000
Порогова функція активації	Навчальна підбірка	94	98,5	99,95
	Валідаційна підбірка	97	99,1	99,95
Логістична функція активації	Навчальна підбірка	96	99,6	99,71
	Валідаційна підбірка	98	99,9	99,72

Таблиця 3 Ефективність (%) роботи ШНМ залежно від параметру швидкості навчання при $b=0, w_1=0,3, w_2=0,4$ на 1000 елементах навчальної підбірки

Таблиця 4 Ефективність (%) роботи ШНМ залежно від значення порогу при $\eta=0,5, w_1=0,3, w_2=0,4$ на 1000 елементах навчальної підбірки

Параметр швидкості навчання η		0,9	0,5	0,1	0,05	0,01	0,005	0,001
Порогова функція активації	Навчальна підбірка	100	100	100	100	100	100	100
	Валідаційна підбірка	100	100	100	99,9	100	99,9	100
Логістична функція активації	Навчальна підбірка	100	100	98,8	97,2	89,9	85,9	82,5
	Валідаційна підбірка	99,9	100	98,3	96,5	89,8	87,7	84

Поріг b		1	-1	5	-5	10	-10	20	-20
Порогова функція активації	Навчальна підбірка	100	100	100	100	100	100	100	100
	Валідаційна підбірка	100	100	100	100	99,9	100	100	100
Логістична функція активації	Навчальна підбірка	91,3	91,2	58,6	57,3	52,1	47,9	52,1	47,9
	Валідаційна підбірка	92,3	91,9	59,7	56,8	53,2	46,8	53,2	46,8

Висновки

- Побудували дві математичні моделі штучного нейрона – з пороговою та сигмоїдальною активаційними функціями та порівняли їх ефективність при різних значеннях гіперпараметрів та різних способах ініціалізації параметрів, що навчаються.
- Порогова функція продемонструвала щонайменше не гіршу ефективність у роботі і поводи́ла себе значно стабільніше при різних варіантах вищеперелічених величин.
- Це вказує на більшу доцільність використання порогових функцій активації для розв'язання простих задач типу бінарного класифікатора на лінійно подільних множинах.
- Щоправда, можливість використання логістичної функції (або іншої сигмоїди) не слід повністю відкидати. Наприклад, під час експерименту ми зовсім не змінювали параметр кривизни сигмоїди. Його модифікація може покращити ефективність математичної моделі штучного нейрона.
- Ще одним можливим напрямком досліджень є порівняння цих двох типів активаційної функції для більш складних задач, зокрема, де більше ніж дві множини, до яких може належати елемент. Це підводить нас до необхідності масштабувати ШНМ, принаймні в бік збільшення кількості нейронів в шарі..

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Haykin, S. Neural networks: a comprehensive foundation – Prentice Hall, 1999.
- [2] Widrow, B. Adaptive filters – from Aspects of network and system theory, edited by R.E. R.E. Kalman & N. DeClaris, Holt, Rinehart and Winston Inc., 1971
- [3] Gu, Y. H., Linear and nonlinear adaptive filtering and their applications to speech intelligibility enhancement, [Phd Thesis 1 (Research TU/e / Graduation TU/e), Electrical Engineering]. Technische Universiteit Eindhoven.
- [4] Каллан, Р. Основные концепции нейронных сетей – Вильямс, 2001.
- [5] Осовский, С. Нейронные сети для обработки информации – Финансы и статистика, 2002.

Singular Integral Equations in Mathematical Modeling of Exciting a Superwideband Antenna

Volodymyr O. Doroshenko

Department of Higher Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.doroshenko@nure.ua

Nadiia P. Stognii

Department of Higher Mathematics
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
nadiia.stohnii@nure.ua

Abstract— The results of the study of a model problem of the interaction of the field of a point harmonic source with a periodic multi-slot conical structure are presented. Slots of different angular widths on the period are cut from the apex along the generatrices of the cone. The method for solving the boundary electrodynamics problem is based on the use of Debye potentials, Kontorovich-Lebedev integral transformations and singular integral equations with a logarithmic kernel. Graphical dependences of the Fourier coefficients of the components of the electromagnetic field and the diagram of the scattered field on the geometric parameters of an open conical surface are given.

Keywords— cone; multi-slot; period; distribution; dipole

I. INTRODUCTION

Computer and mathematical modeling of the physical processes of the interaction of an electromagnetic field with objects of various nature make it possible to study the main features of such processes, and use the results of the study for specific practical applications. Conical structures are used in antenna technology as broadband and ultrawideband antennas and reflectors [1–2]. Creating an adequate model of a physical problem and solving the corresponding mathematical problem for cones is associated with certain difficulties due to the complexity of the conic structure itself. The presence of surface inhomogeneities complicates the study of the mathematical problem, but the analysis of the results obtained significantly expands the area of practical application of such structures. The papers [3–4] present the results of solving the boundary value problems of electrodynamics for semi-infinite and finite solid cones, and the paper [5] is devoted to the study of boundary value electrodynamics problems for cones with narrow grooves. In this paper the results of a study of a model boundary problem of excitation by an electric radial dipole of a semi-infinite ideally conducting periodic cone on the period of which there are slots of various angular widths are presented.

II. PROBLEM STATEMENT

Let a semi-infinite perfectly conducting periodic multi-slot conical surface Σ be in the field \vec{E}_0, \vec{H}_0 of a radial magnetic harmonic dipole with the moment \vec{m}_r that is situated at the cone axis (Fig.1). The slots are cut from the top of the cone along its generatrices. The value of the slot width (angular size) is equal to the value of the dihedral angle formed by the planes drawn through the axis of the cone and the edges of the cone strips. Let

2γ be the opening angle of the cone Σ , $L = 2\pi/N$ be a period of the cone, d_p be an angular slot width with number p ($p = 1 \div M$) at the period, $l_p^{(s)}$ be a conical strip with number p at the $(s+1)$ -th period ($s = 0 \div N-1$). In the introduced spherical coordinate system (r, θ, φ) with the origin at the cone tip, the cone Σ is defined as $\Sigma: \theta = \gamma$, and

$$l_p^{(s)} = \{\varphi: \varphi \in (a_p + sL, b_p + sL)\}, \quad a_p, b_p \in R,$$

$l^{(s)} = \bigcup_{p=1}^M l_p^{(s)}$ is the total surface of all strips at the period with

the number s , $l = \bigcup_{s=0}^{N-1} l^{(s)} = \bigcup_{s=0}^{N-1} \bigcup_{p=1}^M (a_p + sL, b_p + sL)$ is the total surface of the strips of the cone

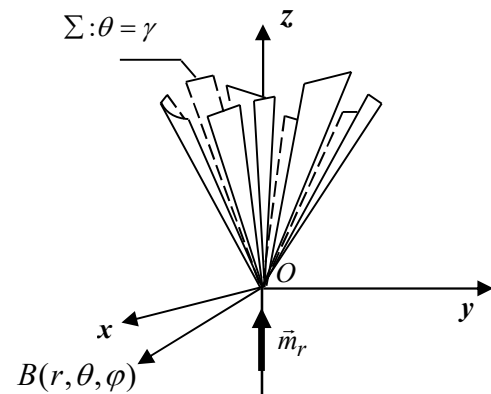


Fig. 1. Geometry of problem.

The total electromagnetic field \vec{E}, \vec{H} in the presence of a cone and source is represented as

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1, \quad \vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}_1,$$

where, \vec{E}_1, \vec{H}_1 is the field that is caused by the cone. Let us use the Debye potential $U_1(\vec{r})$ for finding \vec{E}_1, \vec{H}_1 . The unknown potential U_1 satisfies the Helmholtz equation of everywhere out of conical strips and the source, the Neumann boundary

condition at the cone strips, the condition at the infinity, the condition of local energy finiteness.

It can be found in the form

$$U_1 = \frac{2}{\pi^2} \int_0^{+\infty} \tau \text{sh} \pi \tau D_\tau \tilde{U}_\tau(\theta, \varphi) \frac{K_{i\tau}(qr)}{\sqrt{r}} dr,$$

where $K_{i\tau}(z)$ is the Macdonald function, $q = -ik$, k is a wave number, D_τ are known coefficients,

$$\tilde{U}_\tau = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x_n \frac{P_{-1/2+i\tau}^{nN}(\pm \cos \theta)}{d/d\gamma P_{-1/2+i\tau}^{nN}(\pm \cos \gamma)} e^{inN\varphi}, \quad (1)$$

where $P_{-1/2+i\tau}^{nN}(\cos \theta)$ is the associated Legendre function of the first kind, x_n are unknown coefficients, the upper signs in (1) correspond to the domain $0 < \theta < \gamma$ and the lower ones $\gamma < \theta < \pi$. By using the boundary condition at the cone strips and the condition of field continuity at the slots, one can obtain functional equations for finding x_n and the singular integral equation at slots $Cl(0)$

$$\frac{1}{2\pi} \int_{Cl(0)} \ln \left| 2 \sin \frac{\psi - \alpha}{2} \right| \cdot \Phi(\alpha) d\alpha + \frac{1}{2\pi} \int_{Cl(0)} [K_{r\tau}(\psi - \alpha) - g_{i\tau}] \cdot \Phi(\alpha) d\alpha = g_{i\tau}, \quad \psi \in Cl(0) \quad (2)$$

with respect to $\Phi(\psi) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} y_n e^{im\psi}$, $\psi \in [-\pi, \pi]$,

$\psi = N\varphi$, $y_n = x_n - \delta_n^0$, δ_n^0 is the Kronecker symbol, $K_{i\tau}(\psi - \alpha)$ is a regular kernel that is given.

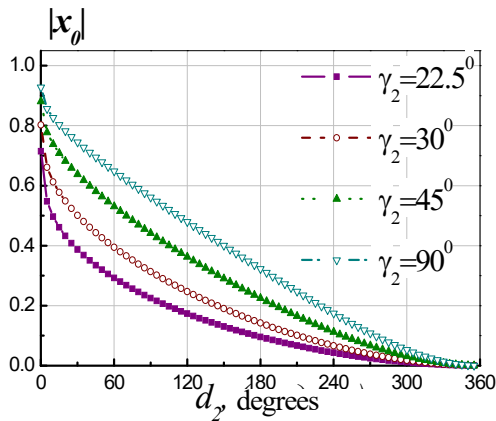


Fig. 2. Dependence of $|x_n|$ on the slot width d for $n = 0$.

III. NUMERICAL RESULTS

In the case of one longitudinal slot and one strip ($M = 1$, $N = 1$) the numerical solution of the singular equation (2) and the numerical values of the Fourier coefficients x_n are obtained using the discretization method. Figure 2 shows the dependences of the coefficient x_0 on the angular parameters of the conical structure. All the others coefficients x_n decrease if n increases.

Patterns of normal field distribution in the azimuth plane are given in Fig.3.

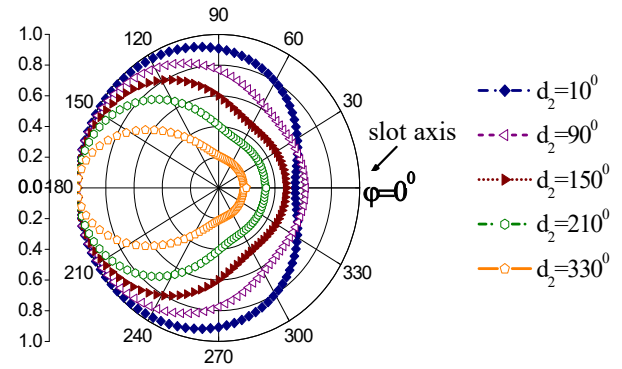


Fig. 3. Patterns of normal field distribution ($M = 1, N = 1, \gamma = 22.5^\circ, \theta = 60^\circ$).

IV. CONCLUSIONS

It is shown that the problem of magnetic radial dipole excitation of a conical open structure, on the period of which there are conical strips and slots of different angular widths, is reduced to solving a singular integral equation with a logarithmic kernel. The Fourier coefficient dependence on cone parameters is illustrated. In the case of one slot per period a field distribution dependence on the angular slot width is given.

REFERENCES

- [1] B. Xia, S. Ming, G. Zhaodong and L. Yuanan, "An UWB top-loaded monocone antenna for multiservice wireless applications," Progress in Electromagnetics Research Letters, vol. 73, pp. 91–97, 2018.
- [2] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design," 4th Edition. Wiley, 1096, 2016.
- [3] L. B. Felsen, "Radiation and Scattering of Waves," New Jersey: Prentice-Hall. Inc., vol.1, 548. vol. 2, 556, 1973.
- [4] D. B. Kuryliak, Z. T. Nazarchuk and V. O. Lysechko, "Diffraction of a plane acoustic wave from a finite soft (rigid) cone in axial irradiation," Open Journal of Acoustics., vol. 5, no. 4, pp. 193–206, 2015.
- [5] D. B. Kuryliak and O. B. Trishchuk, "Modeling of intrinsic and transfer conductances of narrow grooves on the surface of the finite cone under axisymmetric electromagnetic excitation," Journal of Mathematical Sciences., vol. 184, issue 2, pp. 208 – 214, 2012.

Адаптивна система прийому даних біполярними дискретними сигналами в інформаційно – вимірювальних системах на фоні асиметричних негаусових завад

Олександр Зорін

Кафедра робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
snjzrin@gmail.com

Володимир Палагін

Кафедра робототехнічних і телекомунікаційних систем та кібербезпеки
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна
palahin@ukr.net

Adaptive system for receiving data by bipolar discrete signals in information and measurement systems in asymmetric non-Gaussian noise

Oleksandr Zorin

Department of Robotic and Telecommunication Systems and Cybersecurity
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
snjzrin@gmail.com

Volodymyr Palahin

Department of Robotic and Telecommunication Systems and Cybersecurity
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine
palahin@ukr.net

Анотація — В роботі розглянутий новий метод статистичної обробки RZ-сигналів на фоні негаусових завад. Запропонований метод прийому сигналів базується на застосуванні моментно-кумулянтних моделей (статистик вищих порядків - higher order statistics) для опису статистичних властивостей випадкових величин, поліноміальних стохастичних розв'язуваних правил (РП), оптимальні коефіцієнти яких знаходяться за моментним критерієм якості перевірки статистичних гіпотез.

Abstract— The paper considers a new method of statistical processing of RZ signals in of non-Gaussian noise. The proposed method of receiving signals is based on the application of moment-cumulative models to describe the statistical properties of random variables, polynomial stochastic solvable rules, the optimal coefficients of which are based on the moment criterion of the quality of statistical hypothesis testing.

Ключові слова — RZ сигнали, моментний критерій якості, негаусові завади.

Keywords— RZ signals, moment criterion of quality, non-Gaussian noise.

I. ВСТУП

Системи зв'язку є невід'ємною частиною систем телекомунікацій, діагностики, контролю, розвитку яких характеризується підвищеними вимогами до обробки даних. При побудові таких систем, застосовують один із типів лінійного кодування повідомлення, наприклад RZ-кодування [1]. Такий тип кодування має ряд переваг, а саме:

- простота реалізації у порівнянні з багаторівневими способами кодування;
- дозволяє позбутися проблеми постійного зміщення за рахунок протилежного потенційного рівня;
- самосинхронізація сигналів в системах зв'язку.

Функціонування таких систем супроводжується, як правило, впливом різноманітних завад, що впливає на якість та ефективність їх роботи. Комплекс завад породжують складну сигнально – завадову ситуацію, які зазвичай є негаусовими випадковими процесами. Ці обставини суттєво ускладнюють застосування традиційних гаусових моделей опису випадкових процесів при розробці алгоритмів обробки, де задача розрізнення сигналів займає важливе місце при їх побудові.

Як показують останні дослідження, для розв'язання задач обробки негаусових процесів є перспективний підхід, який базується на застосуванні моментно-кумулянтного підходу (статистик вищих порядків - *higher order statistics*) для опису статистичних властивостей випадкових величин. Даний підхід дозволяє охарактеризувати статистичні властивості негаусових процесів з прийнятним наближенням та підвищити точність обробки негаусових процесів в порівнянні з традиційним кореляційним

Статистичні методи обробки сигналів знаходять своє широке застосування для побудови систем прийому даних по зашумленим каналах зв'язку, де застосування традиційних методів є неможливим.

Метою роботи є підвищення ефективності систем прийому даних при розрізненні RZ-сигналів на фоні негаусових завад на основі моментно-кумулянтного представлення випадкових величин з формуванням моментного критерію якості перевірки статистичних гіпотез та поліноміальних розв'язувальних правил (РП).

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай на інтервалі спостереження $(0, T)$ спостерігаються випадкові сигнали $\xi_i(t)$, $i = 0, 1, 2$, які являють собою адитивну суміш постійного корисного сигналу a та $\eta(t)$ – асиметричної негаусової завади з нульовим математичним очікуванням та дисперсією χ_2 : $\xi_0(t) = \eta(t)$, $\xi_1(t) = a + \eta(t)$, $\xi_2(t) = -a + \eta(t)$, за результатами обробки яких необхідно прийняти рішення про реалізацію гіпотези H_1 або H_2 що відповідає прийому постійного корисного сигналу a або $(-a)$ відповідно, або рішення про реалізацію гіпотези H_0 , що характеризує наявність адитивної негаусової завади. Кожному сигналу, який приймається, відповідає моментно-кумулянтний опис, представлений у вигляді кінцевої послідовності моментів $m_i[\{0, \gamma_{i2}, \gamma_{i3}, \dots, \gamma_{ii}\}]$, де $\gamma_{i3}, \dots, \gamma_{ii}$ – кумулянтні коефіцієнти, які описують ознаки негаусової завади $\eta(t)$.

III. СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ ПОЛІНОМІАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ RZ – СИГНАЛІВ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

Для вирішення задачі обробки дискретних RZ – сигналів на фоні негаусових завад синтезовані поліноміальні РП. При степені полінома $s=1$ РП являють собою систему правил перевірки гіпотез H_{10}, H_{20}, H_{21} , які не враховують негаусовий розподіл досліджуваних випадкових процесів. При збільшенні степені полінома до $s=2$ використовуються початкові моменти 3-го та 4-го порядків, що дає можливість врахувати негаусові параметри досліджуваних випадкових процесів, зокрема для даної постановки задачі у вигляді коефіцієнту асиметрії [2].

Для побудови адаптивної системи передачі даних визначаються параметри негаусової завади χ_2, γ_3 та

корисного сигналу a методом моментів. Дані параметри застосовуються при синтезі поліноміальних РП, оптимальних за адаптованим моментним критерієм якості верхньої границі ймовірностей помилок перевірки статистичних гіпотез [2]. Такий підхід дозволяє врахувати тонку структуру негаусових процесів та зменшити ймовірності помилок РП у порівнянні з відомими результатами.

Запропонована структурна схема адаптивної системи передачі та прийому даних біполярними дискретними сигналами на фоні асиметричних негаусових завад. На основі нового методу статистичної обробки сигналів для прийому даних розроблена simulink модель системи та було проведено моделювання її функціонування для РП при $s=1, 2$ та різних значеннях $P = a^2 / \chi_2$ – відношення сигнал/шум по потужності та параметрах негаусової завади. Показано, що при врахуванні коефіцієнта асиметрії негаусової завади ефективність прийому сигналів збільшується ($s=2$) у порівнянні з відомими результатами, які є оптимальними для гаусової моделі завад ($s=1$) – рис. 1.

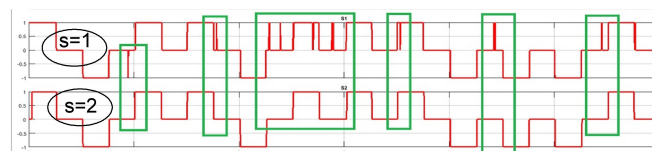


Рис. 3. Графічне представлення результатів обробки RZ-сигналів на фоні негаусових завад при застосуванні РП при степені полінома $s=1, 2$.

IV. ВИСНОВКИ

Запропонований метод обробки адитивної суміші біполярних дискретних (RZ) сигналів на фоні асиметричних негаусових завад при прийомі даних в телекомунікаційних системах демонструє свою ефективність у порівнянні з відомими результатами за рахунок нелінійної статистичної обробки сигналів та урахуванням тонкої структури досліджуваних негаусових випадкових процесів. Проведені дослідження демонструють збільшення ефективності роботи системи при врахуванні коефіцієнта асиметрії негаусової завади, що свідчить про підвищення ефективності функціонування системи прийому даних.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Mahmoud M. A., Ahmed Nabih Zaki Rashed. Hybrid NRZ/RZ line coding scheme based hybrid FSO/FO dual, Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Vol. 22, No. 2, May 2021 p. 866-873.
- [2] Палагін В.В., Палагіна О.А., Зорін О.С. Комп'ютерне моделювання системи обробки шумових сигналів на фоні негаусових завад / В.В. Палагін, Палагіна О.А., Зорін О.С., // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. праць – Кам.-Подільський: Кам.-Подільський нац. ун-т ім. Івана Огієнка, 2017. – Вип. 16. – С. 104-113.

Математичне моделювання зміни йонної густини в просторово-обмежених металевих структурах

Петро Костробій, Ірина Риж
кафедра прикладної математики
Національний університет «Львівська політехніка»
Львів, Україна
iryna.a.ryzha@lpnu.ua

Mathematical modeling of ion density changes in spatially limited metal structures

Petro Kostrobij, Iryna Ryzha
dept. of Applied Mathematics
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
iryna.a.ryzha@lpnu.ua

Анотація— Запропоновано та досліджено математичну модель опису зміщення приповерхневих йонних шарів та зміни густини йонів в приповерхневій області в металевих системах з поверхнею поділу «метал-вакуум».

Abstract—We propose and investigate a mathematical model for describing the displacement of near-surface ion layers and changes in ion density in the near-surface region in metallic systems with a “metal-vacuum” separation surface.

Ключові слова—напівобмежені метали; ґраткова йонна структура

Keywords—semi-infinite metals; lattice ionic structure

Потреби технологічного поступу в нанотехнологіях (10 нм область) зумовили зростання досліджень, спрямованих на побудову математичних моделей, що адекватно описують результати багаточисельних експериментів, зокрема для металевих наносистем (напилені плівки, металеві острівки, тощо).

Важливим є питання дослідження механічних характеристик таких наносистем. Ці дослідження безумовно повинні враховувати відмінність механічних параметрів (модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона, тощо) об'ємних систем та систем з поверхнями поділу.

У [1] в рамках моделей механіки деформівного твердого тіла було запропоновано один з підходів для опису таких відмінностей, в основу якого закладено ідею локального збурення маси йонів, пов'язаного зі способом формування поверхні поділу. При такому континуальному описі

нехтується дискретність йонної підсистеми металеві структури, а ця дискретність стає важливою при опису наноструктур, розміри яких є ~ 10 нм, і які містять ~ 100 йонних шарів.

У даному повідомленні використовуючи результати квантово-статистичного моделювання [2] металевих систем з поверхнею поділу, розглянуто дискретну модель йонної підсистеми. При такому описі відпадають нефізичні уявлення про «приповерхневий дефект маси» [1], який приводить до зміни густини йонів біля поверхні поділу, а сама зміна йонної густини в області біля поверхні поділу зумовлюється фізично-обґрунтованою зміною об'єму елементарної комірки (елемент дискретної структури), викликаною неоднорідністю густини підсистеми електронів провідності.

Використовуючи результати [2] через вибір «reference system» підсистеми електронів провідності, в наближенні парних йон-йонних взаємодій отримано ефективний гамільтоніан дискретної йонної підсистеми:

$$H = H_0 + \sum_{n=1}^N \Phi_1(\vec{R}_n) + \sum_{n \neq n'=1}^N \Phi_2(\vec{R}_n, \vec{R}_{n'}), \quad (1)$$

де $H_0 = \sum_{n=1}^N \frac{P_n^2}{2M}$ – гамільтоніан вільних йонів, масою M та імпульсом \vec{P}_n ($P_n d \ll 1, d$ – параметр елементарної

комірки [3]), N – число йонів у ґратковій структурі, а \vec{R}_n – радіус вектор йона в ґратковій структурі. $\Phi_1(\vec{R}_n)$ та $\Phi_2(\vec{R}_n, \vec{R}_{n'})$ відповідно одночастинковий та двочастинковий потенціали, що враховують неоднорідність густини електронної підсистеми:

$$\Phi_1(\vec{R}_n) = \int_{n(z)} dz \delta w(\vec{q} = 0 | z - X_3^{(n)}), \quad (2)$$

$$\Phi_2(\vec{R}_n, \vec{R}_{n'}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty dq q J_0(\vec{q}, R'') V(\vec{q} | X_3^{(n)}, X_3^{(n')}). \quad (3)$$

Тут $V(\vec{q} | Z_n, Z_{n'})$ визначено так [4]

$$V(\vec{q} | X_3^{(n)}, X_3^{(n')}) = Z^2 v(\vec{q} | X_3^{(n)} - X_3^{(n')}) + \frac{\beta}{VL} \int dz_1 dz_2 \delta w(\vec{q} | X_3^{(n)} - z_1) \mathcal{M}_2(\vec{q}_1 - \vec{q} | z_1, z_2) \cdot \delta w(-\vec{q} | X_3^{(n)} - z_2), \quad (4)$$

$J_0(\vec{q}, R'')$ – функція Бесселя, $R'' = |\vec{R}''|$, а $\delta w(\vec{q})$ означене співвідношенням

$$\delta w(\vec{R}) = \frac{1}{V} \sum_{\vec{q}, k} \delta w_{\vec{q}, k}(\vec{q}) \exp\{-i(\vec{q}, \vec{R}) - ikX_3\}, \quad (5)$$

$R = (\vec{R}, X_3)$, $R'' = (X_1, X_2)$. Кореляційну функцію $\mathcal{M}_2(\vec{q}_1, \vec{q}_2)$ означено в [4].

Поклавши в (1) $\vec{R}_n = \vec{R}_n^0 - \vec{\xi}_n$ (\vec{R}_n^0 – радіус вектор йона в ідеальній – без поверхні – поділу металевій структурі), у квадратичному по $|\vec{\xi}_n|$ наближенні ($|\vec{\xi}_n| \ll 1$) розраховано вільну енергію

$$F = -\frac{1}{\beta} \ln \text{Sp} e^{-\beta H}, \quad (6)$$

(тут β – обернена температура [2], Sp – операція Spur) і з умови

$$\text{grad}_{\vec{\xi}_n} F \equiv \vec{\nabla}_{\vec{\xi}_n} F = 0 \quad (7)$$

отримано рівняння для зміщень $\vec{\xi}_n$, які мінімізують вільну енергію F :

$$\left\langle \vec{\nabla}_{\vec{\xi}} \left[\Phi_1(\vec{R}_n) + \sum_{n'=1}^N \Phi_2(\vec{R}_n, \vec{R}_{n'}) \right] \right\rangle_0 + \beta \left\langle \vec{\xi}_n, \left\langle \vec{\nabla}_{\vec{\xi}} \left[\Phi_1(\vec{R}_n) + \sum_{n'=1}^N \Phi_2(\vec{R}_n, \vec{R}_{n'}) \right] \right\rangle_0 \right\rangle + \hat{A} \vec{\xi}_n + \sum_{n'=1}^N 2 \hat{D} \vec{\xi}_{n'} = 0. \quad (8)$$

де

$$\hat{A} = \left\langle \left(\vec{\nabla}_{\vec{\xi}}, \vec{\nabla}_{\vec{\xi}} \Phi_1(\vec{R}_n) \right) \right\rangle_0, \quad (9)$$

$$\hat{D} = \left\langle \left(\vec{\nabla}_{\vec{\xi}}, \vec{\nabla}_{\vec{\xi}'} \Phi_2(\vec{R}_n, \vec{R}_{n'}) \right) \right\rangle_0 \quad (10)$$

і $\xi' = \vec{\xi}_n$. Індекс «0» у (8)–(10) означає, що відповідні градієнти обчислюються в точках \vec{R}_n^0 .

Показано, що у випадку однорідності густини електронів провідності отримане рівняння має єдиний розв'язок $\forall n$, $\vec{\xi}_n \equiv 0$.

Розглянуто кубічну ґраткову структуру елементарної комірки ($\vec{\xi}_n = (0, 0, \xi_n)$) і розв'язано рівняння (7) для $\vec{\xi}_n$. Для такої структури ґратки отримано діагональні складові тензора напружень [1] з урахуванням умов рівноваги на поверхні «метал–вакуум» і розраховано зміну об'єму ΔV елементарної комірки в приповерхневій області. Показано, що відносна зміна $\frac{\Delta V}{V}$ змінюється від 0,35 (для першого біля поверхні шару) до 0 (для шарів з номерами $k \geq 6$). Відповідно до такої зміни ΔV за рахунок співвідношення $\rho = \frac{m}{V}$ зміниться і густина йонів у приповерхневих шарах (m – маса йонів в елементарній комірці).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Нагірний Т.С., Червінка К.А., Основи механіки локально неоднорідних пружних тіл. Основи наномеханіки II. Львів: Растр-7, 2014. 167 с.
- [2] Kostrobij P. P., Markovych B. M. “Semi-infinite jellium: Thermodynamic potential, chemical potential, and surface energy”. *Physical Review B*. vol. 92, no. 7, 075441, 2015.
- [3] С. Kittel, Quantum Theory of Solids. Wiley, New York, 1963. 435 pp.
- [4] Ваврух М.В., Костробій П.П., Маркович Б.М. Базисний підхід в теорії багатоелектронних систем. Львів: Растр-7, 2017. 510 с.

Особливості пластичного відшаровування тонкого включення в умовах антиплоскої деформації

Василь Кривень
кафедра математичних методів в інженерії
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
kryvenv@gmail.com

Володимир Валяшек
кафедра математичних методів в інженерії
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
valiashek@gmail.com

Любов Цимбалюк
кафедра математичних методів в інженерії
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
lubovtsymbaliuk@gmail.com

Надія Крива
кафедра математичних методів в інженерії
Тернопільський національний технічний
університет імені Івана Пулюя
Тернопіль, Україна
Nadja.Kryva@gmail.com

Plastic exfoliation peculiarities of a thin inclusion under conditions of anti-plane deformation

Vasyl Kryven
Department of Mathematical Methods in Engineering
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
kryvenv@gmail.com

Volodymyr Valiashek
Department of Mathematical Methods in Engineering
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
valiashek@gmail.com

Liubov Tsymbaliuk
Department of Mathematical Methods in Engineering
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
lubovtsymbaliuk@gmail.com

Nadija Kryva
Department of Mathematical Methods in Engineering
Ternopil Ivan Puluj National Technical University
Ternopil, Ukraine
Nadja.Kryva@gmail.com

Анотація— Досліджено квазістатичне пластичне відшаровування жорсткого тунельного прямокутного вузького включення в ідеально пружно-пластичному тілі під зсувним навантаженням, прикладеним на нескінченності. Знайдено аналітичний розв'язок задачі, визначено напружено деформівний стан тіла, досліджено розвиток смуг пластичного відшаровування.

environment under the shear load applied at infinity was studied. Analytical solution of the problem was found. Stress-strain state of the body was investigated. Development of plastic strips exfoliation was studied.

Ключові слова: жорстке включення, пластичне відшаровування, пластичні смуги, конформне відображення.

Key word: rigid inclusions, plastic exfoliation, plasticity bands, conformal mapping.

Abstract — The quasi-static plastic exfoliation of tunnel rectangular narrow rigid inclusion in the ideal elastic-plastic

I. ВСТУП

Дослідження напружено деформованого стану (НДС) тіл з включеннями є важливою задачею механіки деформівного твердого тіла, яка потребує подальшого розвитку. Сьогодні для її вирішення використовуються різні моделі НДС і підходи до його аналізу. Найбільш поширеними і майже завершеними можна вважати моделі теорії пружності і відповідні їм методи лінійних крайових задач. Більш важливими але й менш розвинутими залишаються пружно-пластичні моделі НДС і їм відповідні методи нелінійного аналізу. В механіці композитних та армованих матеріалів залишаються актуальними моделі і методи дослідження розвитку міжфазних пластичних деформацій у тілах з включеннями складної форми і особливості поступових пластичних розшарувань під зростаючими навантаженнями.

Найбільший прогрес у дослідженні напружено деформованого стану (НДС) тіл з включеннями досягнуто для тонких включень, методом функцій стрибка [1]. Однак межі застосовності цього практично важливого підходу та побудованої на його основі теорії залишаються не цілком з'ясованими. Мало дослідженими залишаються сьогодні практично важливі задачі міжфазних пластичних розшарувань [2-5], в результаті яких механічна конструкція поступово змінює свої функціональні характеристики або навіть втрачає міцність.

Тут дослідимо пластичне відшаровування жорсткого тонкого напівбезмежного включення з прямокутним торцем у необмеженому ідеально пружно-пластичному тілі під зсувним навантаженням, прикладеним на нескінченності. Контакт включення з середовищем до навантаженням вважатимемо ідеальним. Пластичні зони моделюватимемо смугами нульової товщини (односмугова модель зони), що починаються від точок найвищої концентрації напружень – вершин включення – і розвиваються вздовж границі включення-середовище (пластичне відшаровування) [4,5,7]. Поперечний переріз тіла зображено на рис.1. Товщина включення $2b$, зсувні навантаження на нескінченності діють паралельно до горизонтальних граней включення: $\tau_{xz} = 0$; $\tau_{yz} = \tau_\infty$ ($0 < \tau_\infty < k$), k - зсувна границя текучості матеріалу середовища. Задача полягає у визначенні напружено деформівного стану (НДС) і довжин пластичних шарів d_1 і d_2 , як функцій величини діючого навантаження.

Матеріал тіла вважатимемо ідеально пружно-пластичним із зсувною границею текучості рівною k .

II. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ ЗАДАЧІ

Сформулюємо крайову задачу у напруженнях. Поза включенням тіло перебуває у пружному стані, а складена із компонент напружень функція $\tau(\zeta) = \tau_{yz}(x, y) + i\tau_{xz}(x, y)$ є аналітичною у області $D = \{x > 0, y > 0\} \cup \{x \leq 0, y > b\}$ та задовольняє на її межі таким умовам:

$$\begin{aligned} \operatorname{Re} \tau(\zeta) &= 0 \quad (\zeta = x + ib, -\infty < x < -d_2); \\ |\tau(\zeta)| &= k \quad (\zeta = x + ib, -d_2 \leq x \leq 0); \end{aligned}$$

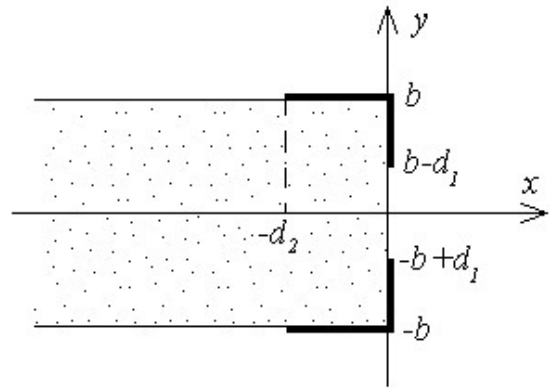


Рис. 1. Поперечний переріз тіла.

Потовщені лінії – зони пластичного відшаровування.

$$\begin{aligned} |\tau(\zeta)| &= k \quad (\zeta = iy, b - d_1 \leq y \leq b); \\ \operatorname{Im} \tau(\zeta) &= 0 \quad (\zeta = iy, 0 \leq y \leq b - d_1); \\ \operatorname{Im} \tau(\zeta) &= 0 \quad (\zeta = x, 0 < x < +\infty); \\ \tau(\zeta) &= \tau_\infty + o(1), \quad \zeta \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (1)$$

Умови (1) послідовно виражають: перша і четверта – ідеальність механічного контакту на пластично невідшарованій частині поверхні включення; друга і третя – умову пластичності в точках пластичних смуг; п'ята – симетрію переміщення відносно осі абсцис; шоста – величину і спосіб навантаження.

Розв'язання задачі (1) зводиться до знаходження довжини пластичних шарів d_1, d_2 , як функцій від величини навантаження τ_∞ та визначення $\tau(\zeta)$. Додатково при цьому слід забезпечити виконання умови $|\tau(\zeta)| < k$ всюди поза пластичними смугами, яка означає що пластичний стан досягається тільки в точках пластичних смуг. Крім того функція $\tau(\zeta)$ додатково повинна задовольняти неперервність переміщення вздовж пластичних шарів, що починаються від вершин включення:

$$w(-0, b) = -w(0, b - 0) \quad (2)$$

де $w(x, y)$ – переміщення у напрямку осі аплікату. Співвідношення (2) означає рівність величин розривів переміщення між включення і матрицею у вершині включення, що виникли в результаті пластичного відшаровування.

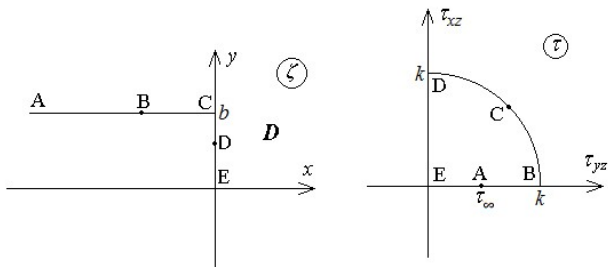


Рис. 2. Области конформного відображення у площинах ζ і τ .

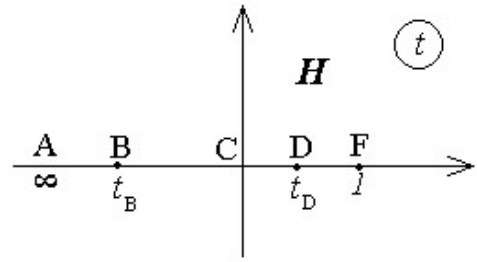


Рис. 3. Область площини допоміжного комплексного параметра.

Для визначення функції $\tau(\zeta)$ скористаємося здійснюваним цією функцією конформним відображенням ([7], рис. 2). Зробимо попередньо два зауваження щодо відображення $\tau(\zeta)$. Наведене відображення володіє двома парами фіксованих точок: A і E і, тому, за теоремою про існування і єдиність конформного відображення [8,9] є однопараметричною множиною функцій, що дасть змогу додаткового забезпечення умови (2).

Відображення $\tau(\zeta)$ шукатимемо в параметричній формі

$$\tau = \tau(t), \zeta = \zeta(t) \quad (t \in H = \{\text{Im}t > 0\}), \quad (3)$$

Увівши площину допоміжного комплексного параметра t (рис. 3), так аби відповідним точкам межі областей D і G відповідала одна і та ж точка на межі області H .

Функцію $\zeta = \zeta(t)$, що реалізує, наведене на рис 2, 3 відображення, для якого фіксовано вибрано три пари точок A, C і F, можна знайти при допомозі перетворення Крістофеля-Шварца. Інтеграл, що входить у це перетворення, для даного випадку обчислюється аналітично:

$$\zeta(t) = ib + \frac{2b}{\pi} \left(\sqrt{t^2 - t} + \ln(\sqrt{1-t} - \sqrt{-t}) \right) \quad (4)$$

де $\ln(\sqrt{1-t} - \sqrt{-t})$ означає аналітичну в H функцію, що набуває дійсні значення, коли аргумент логарифма є дійсним і додатним, а $\sqrt{t^2 - t} = t + o(t)$, при $t \rightarrow \infty$.

Перше відображення (3) можна отримати комбінацією елементарних. Після низки перетворень отримуюмо

$$t = k\tau_\infty^2 \frac{k^4 + \tau^4 - 2qk^2\tau^2}{(k^4 + \tau^4)\tau_\infty^2 - (k^4 + \tau_\infty^4)\tau^2}$$

$$\tau(t) = k \frac{\sqrt{t-t_B} \sqrt{t-t_D} - \sqrt{t-t_D} \sqrt{t-t_B}}{\sqrt{t_D-t_B} \sqrt{t-1}}, \quad (5)$$

$$\text{де } t_B = -2k^2\tau_\infty^2 \frac{1-q}{(k^2 - \tau_\infty^2)^2}, \quad t_D = 2k^2\tau_\infty^2 \frac{1+q}{(k^2 + \tau_\infty^2)^2},$$

$q \in (0;1)$ - параметр, вибором якого досягається виконання умови (2).

Як відомо [9], відносне зміщення точок $(x_2; y_2)$ і $(x_1; y_1)$ визначається формулою

$$\Delta w = \frac{1}{G} \text{Im} \int_{x_1+iy_1}^{x_2+iy_2} \tau(\zeta) d\zeta,$$

де G - модуль зсуву матеріалу матриці. І, отже, відносні зміщення кінцевої та початкової точок для вертикального та горизонтального пластичних шарів, визначені із формул (4), (5), дорівнюють відповідно

$$\Delta w_1 = \frac{1}{G} \sqrt{\frac{1-t_B}{t_D-t_B}} \int_{t_B}^0 \frac{\sqrt{t(t_D-t)}}{1-t} dt$$

$$\Delta w_2 = \frac{1}{G} \sqrt{\frac{1-t_D}{t_D-t_B}} \int_0^{t_D} \frac{\sqrt{t(t-t_B)}}{1-t} dt. \quad (6)$$

Інтеграл (6) легко обчислюються за допомогою теорії лишків. В результаті для знаходження параметра q дістаємо рівняння:

$$\sqrt{1-t_B} (2-t_D - 2\sqrt{1-t_D}) = \sqrt{1-t_D} (2-t_B - 2\sqrt{1-t_B}). \quad (7)$$

Тепер для довжин пластичних шарів із формули (4) отримуємо

$$d_1 = \frac{2b}{\pi} \left(-\sqrt{t_D-t_B} + \arctg \left(\sqrt{\frac{t_D}{1-t_D}} \right) \right),$$

$$d_2 = \frac{2b}{\pi} \left(\sqrt{t_B^2-t_B} + \ln(\sqrt{1-t_B} - \sqrt{-t_B}) \right). \quad (8)$$

Залежності довжин міжфазних пластичних шарів від величини навантаження проілюстровані на рис. 4. Цікаво, що повне пластичне відшарування вздовж вертикальної грані включення не настає поки τ_∞ не досягає рівня границі текучості матеріалу матриці.

III. ПОЧАТКОВА СТАДІЯ ПЛАСТИЧНОГО ВІДШАРОВУВАННЯ.

Як відомо, на початковій стадії ріст пластичних шарів визначається сингулярними членами пружного розв'язку задачі за допомогою лінійної моделі пластичної зони (ЛМПЗ) [10]. Крім пружного розв'язку вихідної задачі ЛМПЗ потребує також двох відповідних допоміжних розв'язків задач, що не містять параметрів розмірності довжини, у пружній та пружно-пластичній постановках для кожного концентратора напружень. Згідно з ЛМПЗ пластичну зону визначають за допоміжним пружно-пластичним розв'язком, узгодженим з допоміжним пружним розв'язком, котрий, у свою чергу, узгоджено з основним пружним розв'язком. Для даного випадку допоміжними будуть задачі для тіла з включенням, яке у площині Oxy займає третій квадрант.

Займемося спочатку пружним розв'язком вихідної задачі. Його можна отримати із пружно-пластичного граничним переходом до безмежно великої границі текучості ($k \rightarrow \infty$). Беручи до уваги, що НДС на наскінченності є однаковим у пружному і пружно-пластичному станах і що при $k \rightarrow \infty$ пластичні шари стають безмежно малими а $t_B \rightarrow 0$, $t_D \rightarrow 0$, із рівності (5) отримуємо

$$\tau^{(e)}(t) = \tau_\infty \frac{\sqrt{t-1}}{\sqrt{t}}. \quad (9)$$

Пружний розв'язок вихідної задачі дають формули (4), (9). Визначимо його асимптотику у вершині включення.

Оскільки $\zeta(t) - ib = \frac{4b}{3\pi i} t^{3/2} + o(t^{3/2})$ і

$$\tau^{(e)}(t) = \frac{i\tau_\infty}{\sqrt{t}} + o\left(\frac{1}{\sqrt{t}}\right) \quad \text{при} \quad t \rightarrow 0, \quad \text{то}$$

$$\tau^{(e)}(\zeta) = \frac{K^V}{(\zeta - ib)^{1/3}} + o(\zeta - ib)^{-1/3}, \quad K^V = i\tau_\infty \sqrt[3]{\frac{4b}{3\pi i}} \quad (10)$$

при $\zeta \rightarrow ib$.

Для дослідження початкової стадії розвитку шарів пластичного відшарування при вершинах включення поставимо і розв'яжемо крайову задачу для функції напружень $\tau_1(\zeta)$ пружно-пластичної задачі для включення, яке у поперечному перерізі тіла займає третій квадрант:

$$\begin{aligned} \operatorname{Im} \tau_1(\zeta) &= 0 \quad (\zeta = x, -\infty < x < d_0); \\ |\tau_1(\zeta)| &= k \quad (\zeta = x, d_0 \leq x \leq 0); \\ |\tau_1(\zeta)| &= k \quad (\zeta = iy, -d_0 \leq y \leq 0); \\ \operatorname{Re} \tau_1(\zeta) &= 0 \quad (\zeta = iy, -\infty < y < -d_0), \end{aligned} \quad (11)$$

де d_0 – довжини горизонтального і вертикального пластичних шарів, які у цьому випадку є рівними.

Крім того у вершині вирізу функція $\tau_1(\zeta)$ повинна володіти асимптотикою (10)::

$$\tau_1(\zeta) = \frac{K^V}{\zeta^{1/3}} + o(\zeta)^{-1/3}, \quad \text{при} \quad \zeta \rightarrow 0 \quad (12)$$

і всюди поза пластичними шарами повинна виконуватися умова $|\tau_1(\zeta)| < k$.

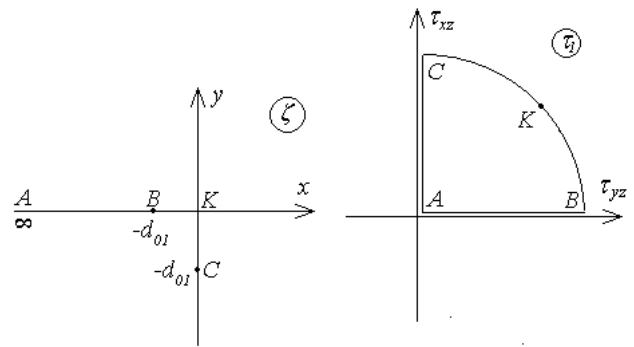


Рис. 4. Области конформного відображення для допоміжного розв'язку.

Внаслідок співвідношень (11) функція $\tau_1(\zeta)$ конформно відображає область площини ζ , що є об'єднанням першого, другого та третього квадрантів, на круговий сектор $|\tau_1| < k$, $0 < \arg \tau_1 < \pi/2$ площини τ_1 (рис. 4).

Безпосередньою побудовою відображення отримуємо

$$\tau_1(\zeta) = \frac{\sqrt{2}kd_0^{1/3}}{\sqrt{d_0^{2/3} - (i\zeta)^{2/3}} + \sqrt{-d_0^{2/3} - (i\zeta)^{2/3}}}, \quad (13)$$

де $\sqrt{\pm d_0^{2/3} - (i\zeta)^{2/3}}$ – аналітична у перших трьох квадрантах функція, рівна $\zeta^{1/3} + o(\zeta^{1/3})$ при $\zeta \rightarrow \infty$.

Із формули (13) шляхом граничного переходу $k \rightarrow \infty$ і відповідно $d_0 \rightarrow 0$ отримуємо допоміжний пружний розв'язок

$$\tau_1^{(e)}(\zeta) = -\frac{kid_0^{1/3}}{\sqrt{2}(i\zeta)^{1/3}},$$

узгоджений з основним пружним розв'язком коли $\frac{kd_0^{1/3}}{\sqrt{2}} = K^V$. Звідси та з формули (10) знаходимо залежність

для довжин пластичних шарів від величини навантаження для початкової стадії їх розвитку:

$$d_0 = \frac{8\sqrt{2}b}{3\pi} \left(\frac{\tau_\infty}{k} \right)^3.$$

Графічна ілюстрація залежностей довжин пластичних шарів від навантаження наведена на рис. 5. Для з'ясування

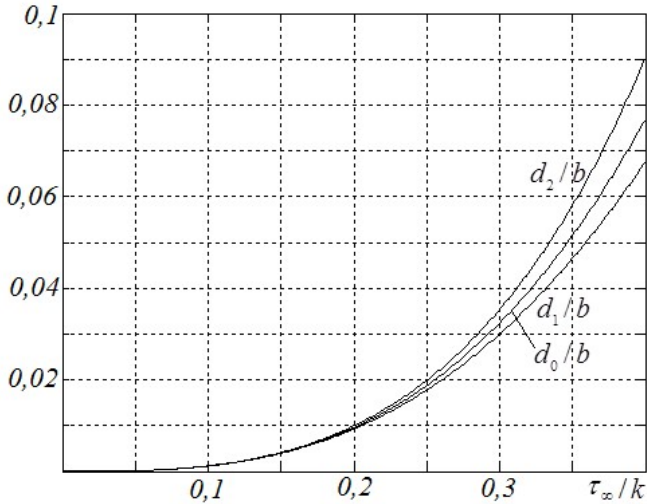


Рис. 5. Залежності довжин пластичних шарів від величини навантаження.

діапазону навантаження, у якому для визначення довжин міжфазних пластичних шарів можна скористатися ЛМПЗ, на рисунку наведено залежність довжини шарів від навантаження, визначену на основі цієї спрощеної моделі. На початковій стадії пластичні шари ростуть пропорційно кубу навантаження і поки воно не перевищує 20% границі текучості поривають не більше 1% поверхні торця включення. Зі збільшенням навантаження відшарована частина горизонтальних граней включення необмежено зростає і зростає відшарована частина торця включення. Але деяка частина торця включення залишається у ідеальному контакті з матрицею поки навантаження не досягне границі текучості матеріалу матриці.

ВИСНОВКИ.

У роботі поставлено і розв'язано задачу про квазістатичний розвиток міжфазного відшаровування вузького жорсткого прямокутного включення скінченної ширини у ідеально пружно-пластичному середовищі під зсувним навантаженням, величина якого може досягати границі текучості. Вважається що пластичні деформації локалізовані на межі включення середовище в шарах нехтовно малої товщини, що розвиваються від вершин включення. Визначення напружено деформівного стану зведено до крайової задачі теорії функцій комплексної змінної і отримано її аналітичний розв'язок методом конформних відображень. Розвиток міжфазного пластичного відшаровування виконано на основі нелінійної моделі, яка забезпечує виконання умови пластичності виключно в точках пластичних шарів. Границя текучості не перевищується і не досягається ніде поза пластичними шарами. Знайдено залежності довжин міжфазних пластичних шарів від величини навантаження. Показано, що товщина включення суттєво впливає на напружено деформівний стан в околі торця включення, суттєво змінює

картину пластичних деформацій в процесі їх розвитку. Детально проаналізовано початкову стадію пластичного відшаровування. Отримано спрощені інженерні формули для залежностей довжин пластичних шарів від навантаження на основі пружного розв'язку задачі і дано їм необхідне обґрунтування. Проведено порівняння точних залежностей довжин міжфазних смуг від навантаження та їх спрощених аналогів. Отримані результати можуть бути використаними для дослідження міцності композитних та армованих матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА. REFERENCES

- [1] Сулим Г. Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими включеннями [монографія] / Сулим Г. Т. — Львів: Дослідно-видавничий центр НТШ, 2007. — 716 с.
- [2] Kryven V.A. Development of plastic zones in a body with a rectangular slot under antiplane deformation / Kryven V.A., Valiashek V. B., Yavorska M. I. — Materials Science, 2008, № 4. — P. 792-798.
- [3] Кривень В.А. Пружнопластична задача для тонкого одностороннього відшарованого включення при зсувному навантаженні / Кривень В. А., Валяшек В. Б., Цимбалюк Л. І., Блащак Н. І. — Математичні методи і фіз.- мех. Поля, 2020, Т. 63, №4. — С. 122-127.
- [4] V. A. Kryven'. Plastic Exfoliation of a Rigid Rectangular Inclusion Under the Action of Concentrated Forces / V. A. Kryven', M. I. Yavors'ka, A. V. Kaplun V. B. Valiashek. — Journal of Mathematical Sciences, 2014 - 198, №2. — P. 119-131.
- [5] Luca Cimbaro, Adrian P. Sutton, Daniel S. Balint, Anthony T. Paxton, Mark C. Hardy Embrittlement of an elasto-plastic medium by an inclusion Luca Cimbaro · Adrian P. Sutton · Daniel S. Balint · Anthony T. Paxton · Mark C. Hardy // International Journal of Fracture. — 2019. — 216. — P. 87–100
- [6] Kryven' V.A. Plastic interfacial lipof periodic systems of rigid thin inclusions undergoing longitudinal shear / V.A. Kryven, G.T. Sulym, M.I. Yavorska // JTAM. - 2006.— V.44, No. 4. — P. 837–848.
- [7] V. A. Kryven'. Plastic Exfoliation of a Periodic System of Thin Near-Boundary Inclusions / V.A. Kryven, A.R. Boiko, V.B. Valiashek, L.I. Tsybalyuk // Materials Science. — 2020. — Т. 56, №3. — С. 90-96.
- [8] Crowdy D.G. Schwarz-Christoffel mappings to unbounded multiply connected polygonal regions / Crowdy D.G. — Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 2007. —P. 319-339.
- [9] Rice J.R. Mathematical Analysis in the Mechanics of Fracture. Chapter 3 of Fracture: an Advanced Treatise / Rice J.R. — Vol. 2, Mathematical Fundamentals. Ed. H. Liebowitz. Academic Press, N.Y., 1968. — P. 191-31
- [10] Kryven V.A. Linear model of a plastic zone in the vicinity of a sharp notch under the conditions of longitudinal shear / Kryven V.A. — Materials Science, 2004 - 40, № 4. — P. 475-483

Апроксимація функцій деяких класів рядами Фур'є з заданою або максимально можливою ТОЧНІСТЮ

Лілія Луц
Відділ оптимізації чисельних методів
Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
lili72luts@gmail.com

Approximation of functions of some classes by Fourier series with given or maximum possible accuracy

Liliya Luts
Department of Optimization of Numerical Methods
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
lili72luts@gmail.com

Анотація— Запропоновано алгоритм обчислення оптимальних параметрів алгоритмів побудови ε -розв'язків задач апроксимації функцій рядами Фур'є.

Abstract— An algorithm for computing of optimal parameters for algorithms of construction ε -solutions of a problems approximation function of Fourier's series is proposed.

Ключові слова— апроксимація функцій, ряди Фур'є, оптимальні параметри алгоритму.

Keywords— approximation of functions, Fourier series, optimal algorithm parameters.

I. ВСТУП

Задача апроксимації (наближення або відновлення) функції $f(x)$ є досить важливою, особливо у випадках, коли, функція має складну аналітичну будову або задана своїми значеннями як результат виміру експерименту. У таких ситуаціях природно замість функції $f(x)$ використовувати деяку іншу функцію $S(x, f)$, яка досить близька до $f(x)$, але має більш простий аналітичний вигляд.

Один із найпоширеніших способів розв'язання цієї задачі – апроксимація функцій тригонометричними рядами Фур'є, яка має широкий спектр застосувань, зокрема, у фізиці, інженерії, цифровій обробці сигналів тощо.

II. ОПТИМАЛЬНА ЗА ТОЧНІСТЮ АПРОКСИМАЦІЯ ФУНКЦІЙ РЯДАМИ ФУР'Є

Розглянемо задачу апроксимації функції $f(x)$, яка задана своїми значеннями в N точках відрізка $[-l, l]$ і належить деякому класу функцій F скінченними сумами Фур'є вигляду

$$S_n(x, f) = \frac{\tilde{a}_0}{2} + \sum_{k=1}^n \left(\tilde{a}_k \cos \frac{k\pi x}{l} + \tilde{b}_k \sin \frac{k\pi x}{l} \right), \quad (1)$$

де $\tilde{a}_k, \tilde{b}_k, k = \overline{0, N-1}$ — наближені значення коефіцієнтів ряду Фур'є:

$$a_k = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \cos \frac{k\pi x}{l} dx, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots, \quad (2)$$
$$b_k = \frac{1}{l} \int_{-l}^l f(x) \sin \frac{k\pi x}{l} dx, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

У [1] отримані оцінки похибки E алгоритмів апроксимації $f(x)$ з використанням для обчислення коефіцієнтів Фур'є оптимальних за точністю і близьких до них квадратурних формул обчислення інтегралів від швидкоосцилювальних функцій для деяких класів функцій F та F_N (звуження відповідного класу F на інтерполяційний клас функцій, який визначається

належністю цьому класу і ще щонайменше $2N$ фіксованими числами: x_i та f_i , $i = 0, N-1$).

Наприклад, для класу Гельдера $C_{L,\alpha}$ (клас періодичних функцій, визначених на $[-l, l]$, які задовольняють умові Гельдера з константою L і показником α) справедлива наступна теорема.

Теорема 1. Нехай періодична з періодом $2l$ функція $f(x) \in C_{L,\alpha}$ апроксимується рядом Фур'є вигляду (1), де коефіцієнти \tilde{a}_k і \tilde{b}_k визначаються за допомогою оптимальних за порядком точності при $N \geq \frac{n\pi}{l}$ квадратурних формул вигляду

$$R_{1,a}(k) = \sum_{\nu=0}^{N-1} f_{\nu} \int_{x_{\nu-1/2}}^{x_{\nu+1/2}} \cos \frac{k\pi}{l} x dx, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3)$$

$$R_{1,b}(k) = \sum_{\nu=0}^{N-1} f_{\nu} \int_{x_{\nu-1/2}}^{x_{\nu+1/2}} \sin \frac{k\pi}{l} x dx, \quad k = 1, 2, 3, \dots,$$

де $x_{\nu-1/2} = x_{\nu} - \Delta x_{\nu}/2$, $x_{\nu+1/2} = x_{\nu} + \Delta x_{\nu+1}/2$, $\nu = 0, N-1$, $\Delta x_{-1} = 0$, $x_0 = -l$, $x_{N-1+1/2} = x_N = l$.

Тоді оцінка похибки апроксимації має вигляд:

$$E_{C_{L,\alpha}} \leq |R_n(f)| + \frac{V_{a_0}}{2} + \sum_{k=1}^n \left(V_{a_k} \left| \cos \frac{k\pi x}{l} \right| + V_{b_k} \left| \sin \frac{k\pi x}{l} \right| \right) < < C_1(\alpha) \left(1 - \frac{C_2(\alpha)}{(n+1/2)^\alpha} \right) + C_3(\alpha) \frac{2n+1/2}{l(2N)^\alpha}, \quad (4)$$

де $C_1(\alpha) = \frac{Ll^\alpha}{\alpha}$, $C_2(\alpha) = \frac{1}{(\alpha+1)\pi^\alpha}$, $C_3(\alpha) = \frac{L(2Cl)^{\alpha+1}}{\alpha+1}$,

$$\max_{\nu} \Delta x_{\nu} = \frac{2Cl}{N}.$$

У [2] отримані оцінки обчислювальної складності (часу реалізації T) наведених вище алгоритмів, які дозволять задавати реальні обмеження T_0 на час їх реалізації. Наприклад, доведена наступна теорема.

Теорема 2. Оцінка обчислювальної складності алгоритму $S_n(x, f)$ (1) з використанням квадратурних формул (3) має вигляд

$$T_1(n, N) \leq (7(N-1) + n)\tau_1 + (2n+3)N\tau_2 + (n+3)\tau_3 + (N+1)\tau_4 + nN\tau_5,$$

де τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 — час виконання операцій додавання, множення, ділення, двійкового зсуву числа відповідно, τ_5 — час, що витрачається на обчислення функції $\sin x$ або $\cos x$ на комп'ютері.

III. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ АПРОКСИМАЦІЇ ФУНКЦІЙ З ЗАДАНОЮ ТОЧНІСТЮ

Нехай необхідно, використовуючи вхідну інформацію I , запропонувати обчислювальний алгоритм $a(X)$ (X — параметри алгоритма) побудови такої функції $S_n(x, f)$, яка відхиляється від $f(x) \in F$ на $[-l, l]$ не більше, ніж на задану величину ε ($\varepsilon > 0$), і ця побудова здійснюється на обраній моделі комп'ютера $c(Y)$ з параметрами Y за час $T = T(\varepsilon, I, X, Y)$, що не перевищує заданого T_0 , тобто похибка апроксимації E задовольняє умові

$$\rho(E(I, X, Y)) = \|f(x) - S_n(x, f)\|_1 = \max_{\substack{f(x) \in F \\ x \in [-l, l]}} |f(x) - S_n(x, f)| \leq \varepsilon.$$

Покладемо

$$E(F, N, n) = \max_{\substack{f(x) \in F \\ x \in [-l, l] \\ T = T(F, N, n, Y) \leq T_0}} |f(x) - S_n(x, f)|.$$

Для апроксимації функції $f(x) \in F$ рядом Фур'є з заданою точністю ε ($\varepsilon > 0$) при виконанні заданих обмежень на час її розв'язання на комп'ютері $c(Y)$ необхідно забезпечити виконання умови

$$E(F, N, n) \leq \varepsilon = \varepsilon^0 \quad (5)$$

Для апроксимації функції $f(x) \in F$ рядом Фур'є з максимально можливою точністю при заданому обмеженні на час її розв'язання T_0 , необхідно розв'язати наступні екстремальні задачі

$$\varepsilon_{\min} = \min_{\substack{N, n \\ T \leq T_0}} E(F, N, n) = \varepsilon^0, \quad (6)$$

або (якщо N задано)

$$\varepsilon_{\min} = \min_{\substack{n \\ T \leq T_0}} E(F, N, n) = \varepsilon^0, \quad (7)$$

Аналіз співвідношення (4), показує, що похибка апроксимації функції $f(x)$ рядами Фур'є на вищевказаних класах складається з двох частин: похибки $E_1 = |R_n(f)|$, яка виникає внаслідок використання скінченного числа n членів ряду Фур'є, і похибки $E_2 = \frac{V_{a_0}}{2} + \sum_{k=1}^n \left(V_{a_k} \left| \cos \frac{k\pi x}{l} \right| + V_{b_k} \left| \sin \frac{k\pi x}{l} \right| \right)$ внаслідок наближеного обчислення його коефіцієнтів. Як показує аналіз отриманих оцінок похибки апроксимації, співвідношення (4) у загальному вигляді можна записати наступним чином: $E(F, N, n) = E_1(F, N, n) + E_2(F, N, n)$, де $E_1(F, N, n) = O(n^{-p})$, $E_2(F, N, n) = O(nN^{-r})$, константи p , r залежать від гладкості класів функцій F .

Нехай N_0, n_0 — оптимальні значення N, n , на яких забезпечується розв'язок задач (5) — (7), а саме $\varepsilon^0 = \varepsilon^0(F, N_0, n_0)$. При цьому задачі (5) — (7) набувають вигляду

$$E(F, N_0, n_0) = O(n_0^{-p}) + O(n_0 N_0^{-r}) \leq \varepsilon^0 = \varepsilon^0(F, N_0, n_0), \quad (8)$$

$$\varepsilon^0 = \varepsilon^0(F, N, n) = \min_{N, n} E(F, N, n) = E(F, N_0, n_0) = O(n_0^{-p}) + O(n_0 N_0^{-r}) \quad (9)$$

$$\varepsilon^0 = \varepsilon^0(F, \bar{N}, n) = \min_n E(F, \bar{N}, n) = E(F, \bar{N}, n_0) = O(n_0^{-p}) + O(n_0 \bar{N}^{-r}) \quad (10)$$

при заданих обмеженнях на час розв'язку задач апроксимації: $T = T(F, N, n) \leq T_0$.

У загальному вигляді оптимізаційні задачі (6) — (7) можна сформулювати наступним чином. Знайти

$$\min_X \phi_0(X) \text{ при } \phi_1(X) \leq T_0, \quad (11)$$

і значення $X = X^0 = (N_0, n_0)$, на яких він досягається. А отже, необхідно розв'язати задачу знаходження глобального мінімуму цільової функції $\phi_0(X) = E(X) = E(F, N, n)$ з такими обмеженнями на змінні $X = (N, n)$: $n_{\min} \leq n \leq n_{\max}$, $N_{\min} \leq N \leq N_{\max}$ та $\phi_1(X) = T(X) = T(F, N, n) \leq T_0$.

Для розв'язання поставленої задачі (11) можна використовувати алгоритм повного перебору по вузлах сітки [3], який буде описаний нижче. Для цього задаються кроки N_h і n_h зміни N і n відповідно і будується сітка вузлів. При цьому n_{\min}, n_{\max} і N_{\min}, N_{\max} повинні бути задані такими, щоб $E(F, N_{\min}, n_{\min}) > \varepsilon$ і $E(F, N_{\max}, n_{\max}) \leq \varepsilon$, а $T(F, N_{\min}, n_{\min}) \leq T_0$ і $T(F, N_{\max}, n_{\max}) > T_0$.

Алгоритм повного перебору можна також застосувати для розв'язання оптимізаційної задачі (5), задаючи серед вхідних даних як ознаки цієї задачі значення $\bar{\phi}_0 = \varepsilon$.

У випадку оптимізаційної задачі (7), тобто, коли інформація про функцію $f(x) \in F$ задана фіксованим значенням кількості вузлів \bar{N} , потрібно знайти лише оптимальну кількість членів ряду Фур'є n , при якому можна досягти мінімальної похибки $\varepsilon > 0$, за час, який не перевищує заданого часу T_0 . У цьому випадку $\phi_0(X) = E(X) = E(F, \bar{N}, n)$, похибка апроксимації, та $\phi_1(X) = T(X) = T(F, \bar{N}, n)$, оцінка часу розв'язання задачі апроксимації, є функціями однієї змінної n та розв'язання цієї задачі може бути здійснене алгоритмом повного перебору, задаючи як вхідне дане $\bar{\phi}_0 = 0$.

Алгоритм повного перебору в загальному випадку.

Крок 1. Задати вхідні дані: $\phi_0(N, n), \phi_1(N, n), N_{\min},$

$N_{\max}, n_{\min}, n_{\max}, N_h, n_h, \varepsilon > 0, T_0, \bar{\phi}_0 = 0$ при розв'язанні оптимізаційної задачі (7) або $\bar{\phi}_0 = \varepsilon$ при розв'язанні оптимізаційної задачі (5). Покласти: $\phi_{0\min} = 1000, N^0 = 0, n^0 = 0, k = 0, l = 0, j = 1$.

Крок 2. Якщо $\bar{\phi}_0 = 0$ (у даному випадку $N_{\min} = N_{\max}$ і алгоритмом розв'язується оптимізаційна задача (7)), то покласти $\bar{N} = N_{\max}$ і $N = \bar{N}$, $N^0 = \bar{N}$ і перейти на крок 4, інакше (розв'язується оптимізаційна задача (5) або (6)) — на крок 3.

Крок 3. Обчислити: $N = N_{\min} + l \cdot N_h$.

Крок 4. Обчислити: $n = n_{\min} + k \cdot n_h, \phi_0(N, n), \phi_1(N, n)$.

Крок 5. Якщо $\phi_1(N, n) \leq T_0$, то перейти на крок 6, інакше — на крок 9.

Крок 6. Якщо $\phi_0(N, n) \leq \phi_{0\min}$, то покласти $\phi_{0\min} = \phi_0(N, n), N^0 = N, n^0 = n$ і перейти на крок 7, інакше — на крок 9.

Крок 7. Якщо $\bar{\phi}_0 = \varepsilon$ (у даному випадку алгоритмом розв'язується оптимізаційна задача (5)), то перейти на крок 8, у іншому випадку — на крок 9.

Крок 8. Якщо $\phi_{0\min} \leq \varepsilon$, то покласти $\varepsilon_j^0 = \phi_{0\min}, N_j^0 = N^0, n_j^0 = n^0, j = j + 1$.

Крок 9. Якщо $n < n_{\max}$, то покласти $k = k + 1$ і перейти на крок 4, у іншому випадку ($n = n_{\max}$) перейти на крок 10.

Крок 10. Якщо $\bar{\phi}_0 = 0$ (у даному випадку алгоритмом розв'язується оптимізаційна задача (7)), то перейти на крок 12, інакше — на крок 11.

Крок 11. Якщо $N < N_{\max}$, то покласти $l = l + 1, k = 0$ і перейти на крок 3, у іншому випадку ($N = N_{\max}$) перейти на крок 12.

Крок 12. Якщо $N^0 = 0, n^0 = 0$, то задача не має розв'язку при заданому обмеженні на комп'ютерний час T_0 розв'язання задачі.

Крок 13. Кінець алгоритму.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] V. K. Zadiraka, E. N. Kolomys, L. V. Luts, V. A. Ljudvichenko, S. S. Melnikova: Effective with respect to accuracy algorithms of approximation of some classes functions by Fourier series // Journal of Automation and Information Sciences, 45(7), pp. 14–29 (2013)
- [2] E.N. Kolomys, L.V. Lutz, V.A. Ludvychenko, S.S. Melnikova Estimation of the computational complexity of some algorithms for the approximation of functions by Fourier series with given accuracy // Control Systems and Computers, №5 (247), pp. 14-26 (2013)
- [3] Stepanets A.I. Methods of approximation theory. VSP, Leiden-Boston, 919 p. (2005)

До Моделювання Міграції Студентів

Олександр Макаренко
Відділ Прикладного Нелінійного
Аналізу
Інститут Прикладного
Системного Аналізу НТУУ КПІ
Київ, Україна
makalex51@gmail.com

Алла Патіоха
Відділ Прикладного Нелінійного
Аналізу
Інститут Прикладного
Системного Аналізу НТУУ КПІ
Київ, Україна
alla_patio@ukr.net

Євген Самородов
Відділ Прикладного Нелінійного
Аналізу
Інститут Прикладного
Системного Аналізу НТУУ КПІ
Київ, Україна
esamor2@gmail.com

Валентин Завертаний
Відділ Прикладного Нелінійного
Аналізу
Інститут Прикладного
Системного Аналізу НТУУ КПІ
Київ, Україна
v.zavertanyy@gmail.com

Ольга Морева
Відділ Прикладного Нелінійного
Аналізу
Інститут Прикладного
Системного Аналізу НТУУ КПІ
Київ, Україна
olga_moreva@gmail.com

Вячеслав Осауленко
Відділ Прикладного Нелінійного
Аналізу
Інститут Прикладного
Системного Аналізу НТУУ КПІ
Київ, Україна
v.osaulenko@gmail.com

To the Modeling of Student Migration

Alexander Makarenko
Department of Applied Nonlinear
Analysis
Institute of Applied System
Analysis at NTUU KPI
Kyiv, Ukraine
makalex51@gmail.com

Alla Patioha
Department of Applied Nonlinear
Analysis
Institute of Applied System
Analysis at NTUU KPI
Kyiv, Ukraine
alla_patio@ukr.net

Yevgen Samorodov
Department of Applied Nonlinear
Analysis
Institute of Applied System
Analysis at NTUU KPI
Kyiv, Ukraine
esamor2@gmail.com

Valentin Zavertaniy
Department of Applied Nonlinear
Analysis
Institute of Applied System
Analysis at NTUU KPI
Kyiv, Ukraine
v.zavertanyy@gmail.com

Olga Moreva
Department of Applied Nonlinear
Analysis
Institute of Applied System
Analysis at NTUU KPI
Kyiv, Ukraine
olga_moreva@gmail.com

Viacheslav Osaulenko
Department of Applied Nonlinear
Analysis
Institute of Applied System
Analysis at NTUU KPI
Kyiv, Ukraine
v.osaulenko@gmail.com

Анотація— Проблема міграції дослідників і студентів є дуже актуальною, особливо для України в нинішній ситуації. Запропоновано метод прогнозування такого процесу. Запропоновано та реалізовано комп'ютерні програми для моделей типу клітинних автоматів. Розроблено гнучку структуру комп'ютерних програм та запропоновано структуру програмних модулів та їх взаємодії. Розрахунок міграції зроблено для серверного рішення на базі GUSCUIT.

Abstract— The problem of migration of researchers and students is very urgent, especially for Ukraine in the current situation. A method of forecasting such a process is proposed. Computer programs for cellular automaton models have been proposed and implemented. The flexible structure of computer programs was developed and the structure of program modules

and their interaction was proposed. The migration calculation is made for a server solution based on GUSCUIT.

Ключові слова ---міграція студентів, моделювання, клітинні автомати

Keywords— student migration, modeling, cellular automata

1. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ МІГРАЦІЇ НАУКОВЦІВ

А. Можливі моделі наукової міграції

Загальна проблема міграції є дуже важливою, і тому вона привертала та привертає багато уваги дослідників та представників керуючих органів різних рівнів. Тому було розроблено велику кількість підходів, методологій, моделей для розгляду цієї проблеми. Серед підходів

можна відмітити наступні: гравітаційний, звичайні диференційні рівняння, диференційні рівняння у частинних похідних (дифузійні рівняння), кінетичні рівняння, нейромережі, методи статистичного аналізу та інші. У різних підходах є свої переваги та недоліки.

Серед різноманітних задач, пов'язаних з освітою і наукою, розглядається одна з задач, яка має велике значення, а саме, питання міграції студентів, аспірантів та науковців за кордон (а також і всередині країни). Зауважимо, що проблема міграції є важливим компонентом загальної проблеми сталого розвитку системи освіти та науки. Наприклад, якщо всі науковці та освічені студенти, а також випускники виїдуть за кордон, то система освіти впаде у колапс. Але міграція має і позитивні аспекти. Вони стосуються обміну наукових знань з розвинутими країнами. Нульова міграція теж не є бажаною, бо призводить до ізоляції. Тому існує оптимальний показник міграції. Це питання, а також багато інших, можна вирішити лише з допомогою математичного моделювання. В цілому це дуже важка проблема в цій області. Можна згадати деякі можливі моделі: моделі конкурентних процесів; моделі в класі звичайних диференційних рівнянь; моделі в класі дифузійних рівнянь; багатоагентні моделі; підхід теорії ігор в проблематиці освітанської міграції; master equations.

В. Моделювання міграції в класі клітинних автоматів

Існує ще один клас моделей, які добре себе зарекомендували для прикладних задач, а саме моделі з розбиттям простору на клітинні елементи та записом рівнянь для зміни стану цих елементів. Такі моделі називаються моделями клітинних автоматів

Ідея в налаштуванні методу до міграції полягає в наступному. Увесь доступний географічний простір ділиться на геометричні елементи, тобто в простішому випадку накладається рівномірна геометрична сітка. На першому етапі така сітка накладається на Україну. Фіксована кількість освічених кадрів складає один агент міграції. Тоді кількість агентів в клітинці відповідає загальній кількості освічених кадрів.

Далі в простішому випадку моделі всіх країн за кордоном можуть розглядатись як один загальний елемент. Тоді процес міграції розглядається як послідовність кроків з клітинки в клітинку всередині України з фінальним кроком за границю в умовний загальний елемент. Модель може бути легко уточненою, якщо і закордонну клітину розбити на клітинки, які відповідають окремим закордонним країнам. Далі, як і в інших застосуваннях клітинних автоматів до задач просторової еволюції в різних галузях міграції, записуються закони зміни станів клітинок. Ці закони враховують усю доступну інформацію, як зовнішню, так і ментальну. Зауважимо, що такий підхід показав прийнятність в моделюванні задач просторового розповсюдження змін (незважаючи на локальний характер динамічних законів класичних клітинних автоматів. Але можна і узагальнити клітинні автомати під задачі міграції. Річ у тому, що класичні клітинні автомати будувались на базі E –класичного евклідового простору розмірності $1D, 2D, \dots, ND$. Сама структура

базового простору E задавала міру близькості клітинок. Це, в свою чергу, задавало локальний окіл клітини, який і визначає динамічний закон клітинного автомата. До базового простору E класичних автоматів в прикладних задачах прив'язані різні тематичні шари: фінансові, економічні, культурні і т.п. Ці тематичні шари можна замінити шарами, прив'язаними до простору E . Тим більше, що так формується статистика. Але можна ввести інші міри близькості клітин, які будуть враховувати сформовану близькість країн: історичну, культурну, дипломатичну і т.ін.

Аналіз проблематики міграції освічених кадрів призводить до висновків про перспективність застосування для цих задач моделей клітинних автоматів (Bijak J. 2006; Billari F.C., Prskawetz A. 2003; Stillwell J. 2005; Disney G., et all I.B., Заплетина М.А. 2019, 2015; Москвина В.А. 2019; Васильєва Т.П. и др. 2011; Дорошенко Т.А. 2019; Антосик Л.В., Івашина Н.В. 2019; Матюшкин Н.В., Заплетина М.А. 2019). Це обумовлено врахуванням дискретної структури відповідних систем, відносною гнучкістю можливих систем та відносною легкістю пристосування таких моделей до існуючих реальних даних, в тому числі геоінформаційних систем. Деякі роботи з реалізації таких моделей до міграції освічених кадрів вже проводились. Але поки що таких досліджень було відносно мало. Також такі моделі потребують подальшої модифікації та адаптації, особливо в сучасній військовій ситуації в Україні. Тому в якості базових моделей в даному дослідженні були обрані клітинні автомати.

II. Базові Моделі Клітинних Автоматів Мшграції Освічених Кадрів

Аналіз можливих моделей для дослідження задач міграції показав, що клітинні автомати добре підходять для розгляду практичних задач. Але вони потребують модифікацій, в тому числі суттєвих.

По-перше, країни мають реальну геометрію і її необхідно враховувати. Реальну географію можна врахувати, розглядаючи нерегулярні клітини. Окрема клітина може відповідати окремій країні, або окремій географічній одиниці, наприклад області. Ілюстрацію такої можливості наведено на прикладі прогнозування еволюції суспільної думки в Україні

По-друге, в деяких задачах потрібно розглядати не тільки локальний окіл кожної клітини з найближчих клітин, а й більш широкий окіл. В задачах міграції це може відповідати урахуванню інформованості та впливу сусідів.

Третя можливість полягає в урахуванні можливостей переміщення студентів відразу до обраних регіонів (країн). Також абсолютно новим узагальненням є врахування границь між країнами і особливості правил перетину кордонів, особливо з урахуванням епідемічної ситуації в країнах і різними правилами карантину. В залежності від обраної задачі для моделювання міграції, потрібно обирати різні варіанти для опису ключових змінних, параметрів застосованих функцій в моделі та досяжної статистики по конкретній задачі. Зауважимо, що при цьому застосовується структура моделей клітинних автоматів.

С. Можливі узагальнення моделей клітинних автоматів міграції освічених кадрів

В попередніх підрозділах цього розділу описано моделі клітинних автоматів для дослідження міграційних процесів. Вони вже підходять для практичного застосування при прогнозуванні в реальних умовах. Але вони можуть слугувати як початкові базові моделі для подальшого вдосконалення з урахування різних факторів та аспектів. Один з напрямків узагальнення полягає в урахуванні внутрішніх ментальних якостей освічених кадрів. Тобто врахування наступних аспектів: як та яка отримується інформація, як формуються побажання мігрувати, як приймаються рішення. Базу для таких моделей запропоновано раніше у вигляді моделей нейромережного типу з урахуванням внутрішньої структури елементів.

III. ОПИС ПРОГРАМ ТА РЕЗУЛЬТАТИВ ОБРАХУНКІВ І МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕНЬ

Розроблено гнучку структуру комп'ютерних програм та запропоновано структуру програмних модулів та їх взаємодії. Розрахунок міграції зроблено для серверного рішення на базі Guscuit для необмеженої кількості користувачів з можливістю доступу до програми з будь-якого мобільного пристрою. Реалізація використовувала концепцію Model-View-Controller. Модель надає дані та відповідає на команди контролера. View відповідає за відображення даних моделі. Ця технологія дозволяє модифікувати кожен компонент незалежно один від

одного. Для серверного рішення використовувалося серверне програмне забезпечення GiscuitRegion. Для десктоп рішення як візуалізатора використовувалося MapInfo Professional. Розрахунок моделі виконувався мовою PHP.

D. Моделювання закордонної міграції освічених кадрів

В цьому підрозділі наведено один з прикладів застосування запропонованих моделей та розроблених програм дослідження міграції освічених кадрів. Наведено для ілюстрації результат дослідження міграції студентів з України в ключові країни Західної Європи в спрощеному випадку врахування сукупної міграції. Початкові умови: кількість студентів в Україні та кількість вакантних місць в ВНЗ для студентів з України. Для моделювання за основу бралось, що міграція походить з України до 5 європейських країн.

ВИСНОВКИ

1. Проведено системний аналіз проблеми міграції студентів та науковців в сучасних умовах.
2. Запропоновано моделі для дослідження проблеми міграції освічених кадрів. За базовий клас моделей обрано суттєві модифікації моделей клітинних автоматів.
3. Реалізовано обрані моделі для розгляду міграційних процесів у вигляді комп'ютерних програм.
4. Проведено дослідження проблеми міграції за допомогою розроблених комп'ютерних програм.

The task of the optimal control of the industrial wastewater processing

Vadym Mukhin

Department of the System Design
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
v_mukhin@i.ua

Alla Yakovleva

Department of the Mathematical Methods of System Analysis
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
aliakovleva@ukr.net

Задача оптимального керування при обробці промислових стічних вод

Мухін Вадим

кафедра ММСА
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»
Київ, Україна
v_mukhin@i.ua

Яковлева Алла

кафедра ММСА
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського»
Київ, Україна
aliakovleva@ukr.net

Abstract—Developed mathematical models of changes in the concentration of components under the action of an electric current. The problem of optimal control of current strength and costs is formulated. The main principles of optimal control calculation are developed. Methods of solving the problem of identification of model parameters with application to this problem of industrial wastewater treatment are considered. The problem of optimal control of current and consumption during the treatment of industrial wastewater with an electrochemical reactor of the ELION installation is considered.

Анотація—Розроблені математичні моделі зміни концентрації компонентів під дією електричного струму. Сформульована задача оптимального керування силою струму та витратами. Розроблені головні принципи розрахунку оптимального керування. Розглянуті методи розв'язку задачі ідентифікації параметрів моделі із застосуванням до даної задачі обробки промислових стічних вод. Розглянуто задачу оптимального управління струмом і витратою при обробці промислових стічних вод електрохімічним реактором установки ЕЛІОН.

Keywords—*optimal management; maximum principle; dynamics models; concentration of components; identification of parameters; cost minimization; electrochemical reactor; industrial wastewater.*

Ключові слова— *оптимальне керування; принцип максимум; моделі динаміки; концентрація компонентів; ідентифікація параметрів; мінімізація витрат; електрохімічний реактор; промислові стічні води.*

I. FORMULATION OF THE PROBLEM

Based on models of the dynamics of component concentration, the task of minimizing electricity consumption while maintaining the required initial level of component concentrations is formulated. The nonlinearity of the dynamics model makes it difficult to solve the formulated problem of optimal control. The control interval is divided into small subintervals, for each of which the control is assumed to be constant, the differential equations are replaced by differential equations. As a result, we form the problem of mathematical programming of a rather large dimension, which can be solved, in particular, with the information technologies.

II. ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Many recent studies are devoted to the study of controlled objects, finding the best ways to control them, as well as the application of optimal control methods to problems arising in various spheres of human activity [1-4]. The mathematical theory of optimal control arose not so long ago.

Its center is the principle of the maximum and related research conducted by scientists from the different countries.

On the basis of the described results, the main recommendations for determining the optimal control of current strength and the flow rate of flowing water are proposed.

III. THE PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH

The object of the study is the control of physical and chemical processes in the electrochemical treatment reactor. The aim of the work is to create a mathematical model of the processes of controlling the reactor of electrochemical treatment of industrial wastewater and to develop methods for calculating the optimal control of current and losses of water flowing through the reactor. The effectiveness of the application of the developed management principles will allow to reduce the consumption of electricity with the same volume of processed water.

IV. MODELING THE DYNAMICS OF CHANGES IN COMPONENT CONCENTRATIONS

Let's consider the case when the functions of changing input concentrations are known in the interval $[0, T]$. We formulate the problem of optimal control with control parameters $c_{BX}^1(t) [t \in 0, T] (I, Q)$

As a criterion, consider the functionality:

$$\int_0^T I(t) dt \rightarrow \min, \quad (1)$$

which saves electricity. Since a certain volume of water should be cleaned in time, there is a limit

$$\int_0^T Q(t) dt \geq a, \quad (2)$$

where a is a constant. As a limitation on the initial concentration, consider the following $\delta_i > 0$

$$\int_0^T Q(t) dt \geq \delta_i, i = 1, 2, \quad (3)$$

where are constants. Restriction (12) is a restriction on the total concentration of components accumulated over the period T . In addition to the above, there are natural management limitations: $\delta_i > 0 [0, T]$

$$\begin{aligned} I_{\min} &\leq I \leq I_{\max}, \\ Q_{\min} &\leq Q \leq Q_{\max}. \end{aligned} \quad (4)$$

So, we come to the problem of optimal control (1) - (4).

V. CONCLUSION AND FUTURE RESEARCH

On the basis of the model that describes the dynamics of the concentration of components and the model that takes into account the influence of different components on each other, the mathematical problem of optimal control of electric current strength and costs is formulated. The principles of optimal control applied to develop an effective method for determining optimal control that allows for computer implementation.

The study of the problem of optimal control based on Pontryagin's maximum. As a result, it is shown that the optimal control should be piecewise-constant and take, in some sense, minimum or maximum values. These theoretical studies are supported by a model example, which shows that piecemeal-continuous management is more acceptable than permanent. The obtained results make it possible to build quite effective methods of solving the problem of building optimal control, which allow implementation on a computer in real time.

REFERENCES

- [1] Мухін В.Є., Яковлева А.П., Корнага Я.А. Математична модель процесу керування реактором електрохімічної обробки промислових стічних вод. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2022. № 3. – с. 4 -11.
- [2] Galyaev AA Problem of Optimal Oscillator Control for Nulling its Energy under Bounded Control Action // Autom. Remote Control. 2009. V. 70. No. 3. - p. 366-374.
- [3] Galyaev AA Scalar Control of a Group of Free-running Oscillators // Autom. Remote Control. 2016. V. 77. No. 9.- p. 1511-1523.
- [4] Ovseevich AI Complexity of the Minimum-time Damping of a Physical Pendulum //SIAM J. Control Optim. 2014. V. 52. No. 1.- p. 82-95.

Урахування неоднорідності середовища при моделюванні електромагнітних процесів у робочій зоні електричних машин

Юлія Писаренко

лабораторія № 236 систем віртуального оточення для організації наукових досліджень
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
pisarenkojv@gmail.com

Микола Фесенко

відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
olga-gulchak@ukr.net

Юрій Панасюк

відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
jvpisarenko@ukr.net

Тетяна Чоботок

відділ №265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
tatiana110b@gmail.com

Taking into account the heterogeneity of the environment when modeling electromagnetic processes in the working area of electric machines

Julia Pisarenko

lab. №236 of Virtual Environment Systems for the Organization of Scientific Research
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
pisarenkojv@gmail.com

Mykola Fesenko

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
olga-gulchak@ukr.net

Yurii Panasyuk

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
jvpisarenko@ukr.net

Tetyana Chobotok

dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
tatiana110b@gmail.com

Анотація — В роботі приведено математичні моделі, які дозволяють виконати розрахунок магнітного поля у робочій зоні пристрою за заданими електрофізичними та геометричними параметрами конструкції. При отриманні математичних моделей було враховано неоднорідність параметрів середовища.

Abstract — The paper presents mathematical models that allow the calculation of the magnetic field in the working zone of the device based on the given electrophysical and geometric parameters of the design. When obtaining mathematical models, the heterogeneity of the environment parameters was taken into account.

Ключові слова — математична модель; магнітне поле; алгоритм; інформаційні технології; метод вторинних джерел.

Keywords — mathematical model; magnetic field; algorithm; information technology; method of secondary sources.

I. ВСТУП

Сучасний рівень технологічного розвитку суспільства зумовлює широке використання автономних роботизованих систем різноманітного базування. Як відомо, кінцевими елементами таких систем є виконуючі пристрої, що побудовані на базі електромеханічних пристроїв різноманітних типів.

При проектуванні нових типів високоточних виконуючих пристроїв необхідно виконати розрахунки електромагнітних полів у робочій зоні. В роботі [1] було отримано математичні моделі для проведення таких розрахунків з метою моделювання параметрів магнітного поля. При цьому було вказано, що для математичного опису реальних фізичних процесів екрануючий вплив елементів конструкції на магнітне поле в робочій зоні не враховувався.

Необхідно підкреслити, що корпус, магнітопровід та інші складові є важливими конструктивними елементами і, звичайно, для підвищення точності виконуваних розрахунків необхідно враховувати їх вплив на фізичні процеси всередині (а в деяких задачах і ззовні) електромеханічних пристроїв. Враховуючи вищенаведені міркування, в даній статті буде розглянуто підхід щодо отримання математичної моделі для розрахунку параметрів магнітного поля у робочій зоні електричної машини (виконуючого пристрою) з урахуванням екрануючих властивостей елементів конструкції. При цьому математичні рівняння, що були отримані в роботі [1], будуть теж частково використані, наприклад, для порівняння результатів моделювання з використанням кількох математичних моделей.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

В даній статті розглядається один із можливих підходів для отримання кінцевих виразів з розрахунку складових напруженості магнітного поля в заданих точках кусково-однорідного простору.

Таким чином, у статті отримано та наведено математичні вирази напруженості магнітного поля у зазорах магнітного підвісу в кусково-однорідному середовищі і результати чисельного моделювання характеристик систем. На базі кінцевих математичних виразів розроблено алгоритм моделювання параметрів магнітного поля у робочій зоні пристрою та реалізовано сучасний програмний застосунок на основі клієнт-серверної архітектури.

III. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Можливості Узагальнена конструкція пристрою приведена на рис. 1. Як можна побачити, вона складається з 3-х постійних магнітів, які розташовано в корпусі-екрані.

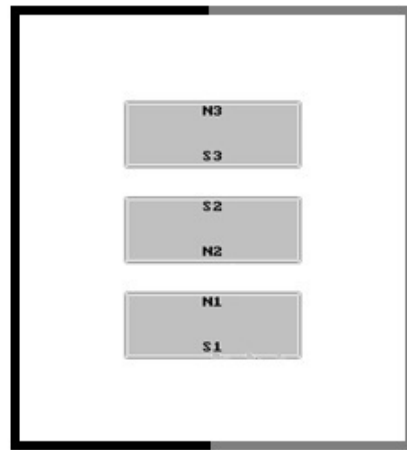


Рис. 1. Узагальнена конструкція пристрою

Головною частиною електромагнітного пристрою є магнітна система, призначена для створення та концентрації магнітного поля у заданому обмеженому просторі. Оскільки електромагнітним полем, створюваним магнітною системою, визначаються основні властивості та характеристики механізму, то для розрахунку поля у робочій зоні необхідно отримати математичну модель, що враховує екрануючі властивості елементів конструкції.

У статті розглядаються математичні вирази для розрахунку напруженості магнітного поля у робочій зоні пристрою з постійними магнітами для кусково-однорідного середовища та наводяться результати чисельного моделювання характеристик систем.

Оскільки електромагнітна система пристрою в своїй конструкції містить деталі складної форми та має нелінійні характеристики середовища, запропоновано підхід, який базується на тому, що для кусково-однорідного середовища задачу розрахунку магнітного поля можна сформулювати у вигляді системи лінійних інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду [1].

У відповідності до методу вторинних джерел [1], розв'язок задачі розрахунку поля може бути розділений на два етапи: спочатку знаходиться розподіл додаткових (вторинних) джерел q_N , дія яких еквівалентна впливу неоднорідного середовища на фізичні процеси в робочій зоні, а на наступному етапі за принципом суперпозиції полів розраховується сумарне магнітне поле, що спричинене присутністю первинних q_N та вторинних q_m джерел.

У випадку канонічних форм граничних поверхонь (наприклад, площина, циліндр, сфера) можна отримати безпосередньо розв'язувані рівняння для визначення додаткових джерел, що призводить до вичерпного розв'язку поставленої задачі.

У разі неможливості отримання аналітичних виразів, що описують поле в кінцевому вигляді, для деяких окремих випадків задача може бути вирішена із застосуванням чисельних методів. У цьому випадку розрахунок поля ускладнюється відсутністю ефективних методик, а сама задача проектування магнітної системи вирішується застосуванням напівемпіричних методів та

багаторазовими лабораторними експериментами, що пов'язано з суттєвими економічними витратами.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

На основі отриманої математичної моделі було розроблено розрахунковий алгоритм та створено сучасну платформу [2, 3] для моделювання характеристик магнітного поля [4], у якій, завдяки використанню клієнт-серверної архітектури вдалося перенести ресурсомісткі обчислення з персонального комп'ютера або портативного пристрою користувача у хмару, яка має значно більші обчислювальні можливості та які можливо досить легко масштабувати.

На стороні користувача, у веб-браузері, виконується лише та частина програмного коду, що відповідає за обмін даними між користувачем та сервером та виконує графічне відображення отриманих результатів. Таке виконання коду у вікні браузера додає новий рівень абстракції, завдяки якому програма не залежить від операційної системи і може використовуватись на будь-яких пристроях, де встановлений один з поширених веб-браузерів. Завдяки тому, що більша частина логіки знаходиться на стороні серверу, оновлення компонентів системи може бути виконане в незалежному від кінцевого користувача режимі у час низької активності системи.

При проектуванні програмного комплексу для виконання чисельних розрахунків було додатково розроблено наступні основні підпрограми:

- модуль введення/перевірки вхідної інформації та формування масивів даних;
- модуль розрахунку значень правої частини інтегрального рівняння;
- модуль розв'язання системи алгебраїчних рівнянь 1-го ступеня;
- модуль розрахунку еквівалентного поля від усіх (первинних та вторинних) джерел;
- модуль розрахунку електромагнітних характеристик пристрою;
- модуль, що здійснює читання/запис результатів розрахунків з/в спеціальні файли параметрів;
- модуль графічного відображення результатів.

З використанням розробленого програмного застосунку [4] було проведено низку чисельних експериментів. На рис. 2 приведено результати розрахунків, що демонструють (ліва частина рисунку) магнітне поле від вторинних джерел та (права частина) картину магнітного поля в робочій зоні пристрою. Зрозуміло, що масштаби обиралися з міркувань наочності відображення отриманих результатів.

За допомогою програмного комплексу можна також виконати розрахунки магнітного поля у робочій зоні для довільної конструкції магнітної системи. Варіанти таких розрахунків показано на рис. 3 та рис. 4.

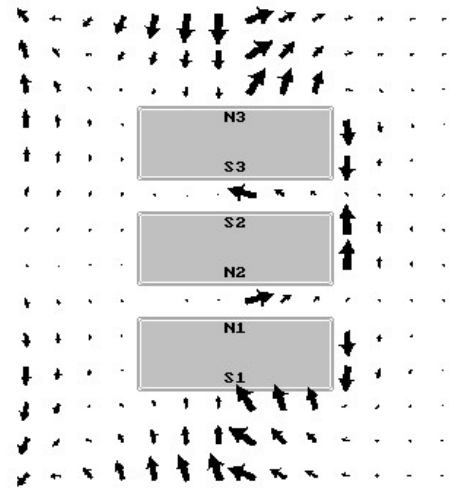


Рис. 2. Результати моделювання картини магнітного поля

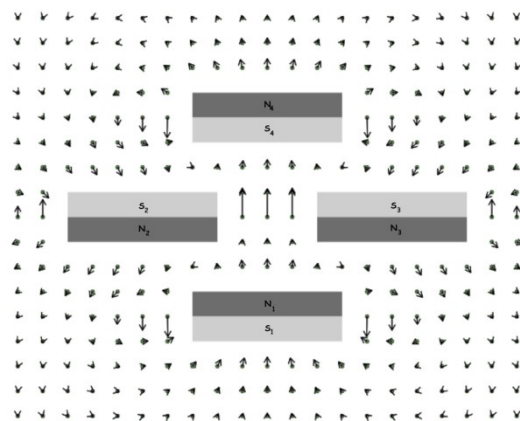


Рис. 3. Картина магнітного поля для конструкції «ромб»

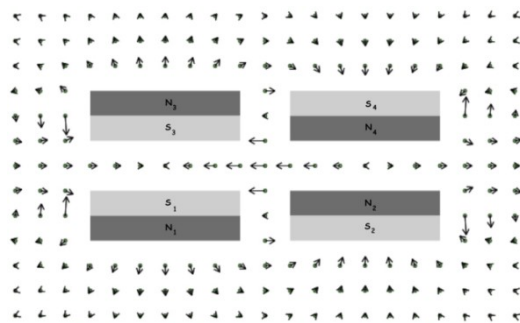


Рис. 4. Картина магнітного поля для конструкції «квадрат»

Аналіз результатів чисельного моделювання з використанням розробленого програмного застосунку показує, що запропонований алгоритм дає стійке рішення задачі по розрахунку картини магнітного поля у кусково-однорідному середовищі.

Можливі застосування можна поділити на два основні види:

- 1) формування магнітного поля з розрахунковою діаграмою спрямованості;

2) реєстрація спрямованості магнітного поля заздалегідь підготовленої системи.

Можливі напрямки застосування першого виду:

- керування магнітоприводом різної лінійної або радіальної конфігурації, у тому числі дво- та тривимірне позиціонування намагнічених вузлів механізмів;

- нерівномірне намагнічування полем заданої конфігурації матеріалів із магнітною пам'яттю;

- зміна напруженості та діаграми магнітного поля в електродвигунах на постійних магнітах для дослідження більш оптимальних режимів роботи при зміні кутової швидкості обертання ротора;

- керування феромагнітними рідинами.

Другого виду:

- реєстрація кутів повороту та кутової швидкості точних поворотних механізмів, у тому числі з нерівномірною кутовою швидкістю, наприклад, датчики обертання коліс або інших механізмів, кулачкові регулятори високої точності;

- лінійні та двовимірні датчики позиціонування, наприклад, джойстики або одно- та двовимірні регулятори управління з подальшим перетворенням на аналоговий або цифровий сигнал;

- магнітні розв'язки електричних ланцюгів при необхідності передачі в розв'язці небінарних станів, наприклад, трьох і більше станів первинного ланцюга електронної схеми.

V. ВИСНОВОК

В роботі приведено математичні моделі, які дозволяють виконати розрахунок магнітного поля у робочій зоні пристрою за заданими електрофізичними та

геометричними параметрами конструкції. При отриманні математичних моделей було враховано неоднорідність параметрів середовища. На їх основі розроблено сучасний програмний застосунок на клієнт-серверній архітектурі та проведено чисельне моделювання магнітного поля. Отримано результати, що в базових своїх складових повністю узгоджуються з результатами розрахунків з використанням інших математичних моделей.

Запропонований підхід може бути використаний для розв'язання інших подібних задач, коли необхідно розрахувати характеристики системи, що містить постійні магніти в умовах кусково-однорідного середовища. А застосування обчислювального комплексу дозволяє знаходити рішення для класу завдань, що описуються інтегральними рівняннями, які можуть бути приведені до системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Крячок О.С., Реуцький М.О., Сушко Д.А. До питання розрахунку характеристик спеціальних пристроїв з магнітною системою на основі постійних магнітів / Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – Харків : НТУ «ХПІ», 2021. – № 2(8). — С. 77 -82 – ISSN 2079-5459.
- [2] Schildt H. Java: The Complete Reference / Herbert Schildt., 2021. – 1280 с.
- [3] Allamaraju S. RESTful Web Services Cookbook: Solutions for Improving Scalability and Simplicity / SubbuAllamaraju., 2010. – 316 с.
- [4] Крячок О.С., Сушко Д.А. Комп'ютерна програма «Electro-Magnetic Laboratory»: Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 111491. Україна. Дата реєстрації 01.02.2022. 1 с.

Оптимальні режими роботи підземних сховищ газу

Мирослав Притула

відділ розробки систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ПСГ
Науково-дослідний інститут транспорту газу АТ
«Укртрансгаз»
Львів, Україна
myroslav.prytula@gmail.com

Назар Притула

відділ розробки систем оптимального планування та прогнозування режимів роботи ПСГ
Науково-дослідний інститут транспорту газу АТ
«Укртрансгаз»
Львів, Україна
nazar.prytula1@gmail.com

Зоя Притула

лабораторія математичних проблем механіки неоднорідних тіл
Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача
Львів, Україна
zoya777b@gmail.com

Ольга Химко

кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Національний університет "Львівська політехніка"
Львів, Україна
olgakhymko@ukr.net

Optimum Modes Of Operation Of Underground Gas Storage

Myroslav Prytula

department of development of systems for optimal planning and forecasting of UGS operating modes
Research and Design Institute of Gas Transport of PJSC
"Ukrtransgaz"
Lviv, Ukraine
myroslav.prytula@gmail.com

Nazar Prytula

department of development of systems for optimal planning and forecasting of UGS operating modes
Research and Design Institute of Gas Transport of PJSC
"Ukrtransgaz"
Lviv, Ukraine
nazar.prytula1@gmail.com

Zoia Prytula

laboratory of mathematical problems of mechanics of inhomogeneous bodies
Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
zoya777b@gmail.com

Olha Hymko

department of Automation and Computer-Integrated Technologies
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
olgakhymko@ukr.net

Анотація— Робота присвячена удосконаленню та розвитку програмного забезпечення для автоматизації процесів планування оперативних та прогнозних режимів роботи підземних сховищ газу (ПСГ) у складі газотранспортної системи (ГТС). У результаті проведення числових експериментів виявлено та оцінено потенціал оптимізації окремих підземних сховищ на етапі планування їхніх режимів експлуатації за енергетичним та іншими

критеріями. Крім цього встановлено потенціал оптимізації сумісного планування прогнозних режимів роботи ПСГ та експлуатаційних режимів роботи на максимальній продуктивності ПСГ узгоджених із режимами ГТС тощо. Для реалізації виявленого потенціалу оптимізації запропоновані ефективні методи та алгоритми мінімальної складності, які забезпечили ефективне диспетчерське управління підземними сховищами газу.

Abstract— The work is devoted to the improvement and development of software for automating the planning processes of operational and predictive modes of operation of underground gas storage facilities (UGSF) as part of the gas transmission system (GTS). As a result of conducting numerical experiments, the optimization potential of individual underground storages at the stage of planning their operating modes according to energy and other criteria was identified and evaluated. In addition, the potential for optimization of the combined planning of the predictive modes of operation of the UGSF and operational modes of operation at the maximum productivity of the UGSF coordinated with the modes of the GTS, etc., has been established. Effective methods and algorithms of minimal complexity are proposed to implement the identified optimization potential, which ensured effective dispatching control of underground gas storage facilities.

Ключові слова— підземне сховище газу, потенціал оптимізації, компресорна станція, програмне забезпечення, диспетчерське управління, оптимальне планування

Keywords— underground gas storage, optimization potential, compressor station, software, dispatch control, optimal planning

I. ПОТЕНЦІАЛ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ

Складовими інтегрального потенціалу оптимізації є: потенціал оптимізації компресорних станцій; максимальна реалізація пропускнув спроможності технологічного обладнання та виявлення потенціалу нарощення піковості; потенціал оптимізації сумісної роботи ПСГ; потенціал оптимізації сумісної роботи ПСГ та ГТС як єдиного термогидравлічного комплексу. Інструментами аналізу експлуатаційних режимів роботи ПСГ служать розроблене та реалізоване математичне та програмне забезпечення [1-4] розв'язування задач моделювання, оптимізації для розрахунку режимів роботи технологічних об'єктів ПСГ. Подальший розвиток наявного забезпечення необхідний для розв'язування максимально повного переліку оптимізаційних задач, математичне забезпечення, яких є адаптоване на оперативних режимних вимірних даних.

Ефективне розв'язування згаданих задач вимагає розроблення методів автоматизації процесів формування прогнозованих режимів в умовах значної невизначеності та оцінювання режимних показників роботи кожного сховища, зокрема. Крім цього існує необхідність розвитку системи інформаційного підтримування розв'язування екстремальних задач за тими чи іншими критеріями, які диктуються диспетчерськими службами з огляду на реальну ситуацію. Реалізація завдання вимагає постійного аналізу поточних режимів роботи ПСГ протягом багатьох років, виявлення та оцінювання факторів впливу на якість експлуатації об'єктів ПСГ та, як результат – формулювання нових режимно-технологічних задач, постійної адаптації системних моделей роботи ПСГ на багаторічних та оперативних експлуатаційних даних, забезпечення достатньої швидкості розв'язування оптимізаційних задач. Завданням і призначенням роботи є функціональний розвиток комплексу вирішення завдань оперативного і прогнозного оптимального планування режимів об'єктів ПСГ і ГТС АТ "Укртрансгаз".

Виявленню потенціалу оптимальності передують аналіз: результатів моделювання щодобових поточних режимів роботи ПСГ; результатів розвитку та апробації програмних модулів; реальних режимів роботи технологічних об'єктів ПСГ та наявного інформаційного забезпечення; повноти та якості інформаційних баз даних; ефективності математичного та програмного забезпечення систем формування режимів роботи підземних газосховищ; інтерфейсного та функціонального забезпечення системи розв'язування прямих та обернених режимних задач; методі формування завдань диспетчерськими експлуатаційними службами ПСГ

II. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ ОПТИМІЗАЦІЇ

Для виявлення потенціалу оптимізації використана програмна реалізація розробленого математичного забезпечення [1-4]. Розглянемо процес відбирання газу на Дашавському ПСГ за вхідного/вихідного (20.0/35.0 атм) тисків та за різних наборів змінних проточних частин (ЗПЧ) і різних режимів роботи ДКС (табл. 1). Для компримування заданого об'єму газу та заданих тисків на вході та виході ДКС існує не єдина схема ДКС, яка забезпечує такі вхідні дані. Серед них існують схеми із мінімальною та максимальною витратою паливного газу. Потенціал оптимізації – відношення максимальної до мінімальної витрати паливного газу.

TABLE I. ПОТЕНЦІАЛ ОПТИМІЗАЦІЇ ДАШАВСЬКОГО ДКС ЗА РІЗНИХ ОБСЯГІВ ВІДБИРАННЯ ГАЗУ

Об'єм відбирання газу млн м ³ /д	Режим роботи ДКС	Об'єм паливного газу (мінімальний) млн м ³ /д	Об'єм паливного газу (максимальний) млн м ³ /д	Потенціал оптимізації %
15.788	2-2	0.153	0.192	25.5
14.088	2-1	0.135	0.145	7.4
13.788	2-1	0.132	0.151	14.1
10.788	2-1	0.104	0.130	12.5
7.788	1-1	0.070	0.097	38.6

Наведені результати в табл. 1 демонструють значний наявний потенціал оптимізації. Потенціал оптимізації на наведених режимах Дашавського ДКС змінюється в межах від 7.4 і до 38.6%.

Розглянемо ще один приклад - процес відбирання газу на Більче-Волицькому ПСГ за вхідного/вихідного (18.0/45.0 атм) тисків та за різних наборів (ЗПЧ) і різних схем режимів роботи ДКС (табл. 2).

Потенціал оптимізації в наведених режимах Більче-Волицького ДКС міняється в межах від 3.8 до 20.5%.

На режими експлуатації ПСГ суттєво впливають коефіцієнти фільтраційного опору свердловин [1], які різняться між собою в значних межах. Вони міняються і для певних свердловин протягом сезонів відбирання/закачування газу.

TABLE II. ПОТЕНЦІАЛ ОПТИМІЗАЦІЇ БІЛЬЧЕ-ВОЛИЦЬКОГО ДКС ЗА РІЗНИХ ОБ'ЄГІВ ВІДБИРАННЯ ГАЗУ

Об'єм відбирання газу млн м3/д	Режим роботи ДКС	Об'єм паливного газу (мінімальний) млн м3/д	Об'єм паливного газу (максимальний) млн м3/д	Потенціал оптимізації %
65.380	4-3-3	1.256	1.411	12.3
55.380	4-3-2	1.057	1.097	3.8
45.380	3-2-2	0.842	0.940	11.6
35.380	3-2-2	0.682	0.762	11.7
25.899	2-1-1	0.468	0.564	20.5
15.899	1-1	0.291	0.306	5.1

Серед факторів впливу на коефіцієнти фільтраційного опору свердловин значний вплив має скін-фактор, який породжується забрудненням привибійних зон свердловин. У табл. 3 наведені розраховані дебіти свердловин двох груп по сім свердловин за пластового тиску 30 атм і тиску 18 атм на газозбірному пункті. Коефіцієнти фільтраційного опору свердловин впливають на дебіт свердловин і на якість експлуатації пластів-колекторів.

TABLE III. ДЕБІТ СВЕРДЛОВИН ЗА РІЗНИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО ОПОРУ

Коефіцієнти фільтраційного опору a-b	Дебіт свердловин млн м3/д	Коефіцієнти фільтраційного опору a-b	Дебіт свердловин млн м3/д
0.1081-0.0013	0.416	0.4492-0.0084	0.213
0.0729-0.0010	0.447	0.4285-0.0078	0.219
0.0773-0.0009	0.454	0.4141-0.0089	0.210
0.1190-0.0019	0.380	0.5110-0.0110	0.188
0.1002-0.0013	0.419	0.5707-0.0092	0.200
0.1214-0.0016	0.396	0.4208-0.0095	0.206
0.0912-0.0010	0.443	0.5552-0.0102	0.193

Для числового експерименту були відібрані дві групи свердловин – перші сім свердловин мають дещо менші коефіцієнти фільтраційного опору за інших сім свердловин. Як результат – сумарний дебіт перших сімох свердловин є більшим ніж удвічі за дебіт інших сімох свердловин. Цей експеримент підтверджує необхідність вказувати в базах даних не тільки кількість, а також номери свердловин, які на даний час працюють на ПСГ. Саме пропускна спроможність привибійних зон суттєво впливає на продуктивність ПСГ.

Оцінимо сумісний потенціал оптимізації одночасної експлуатації двох газосховищ – Більче-Волицько-Угерського та Дашавського ПСГ. Поставлене таке завдання - відібрати протягом 4 діб 120 млн м3 газу по 30 млн м3 газу щоденно із двох сховищ – із Більче-Волицько-Угерського ПСГ - 80 та Дашавського ПСГ - 40 млн м3 газу. Оцінимо два можливі варіанти реалізації завдання в процесі відбирання газу.

Вхідні дані: тиски – середній пластовий тиск у області робочих свердловин та тиск у газопроводі-відводі складає відповідно - 25 та 35 атм – на Більче-Волицько-Угерському ПСГ, 30 та 35 на Дашавському ПСГ. Результати наведені в табл. 5.

TABLE IV. ПОТЕНЦІАЛ ОПТИМІЗАЦІЇ ОДНОЧАСНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВОХ ГАЗОСХОВИЩ ГАЗУ

Підземне сховище газу	Добове відбирання газу, варіант- 1 млн м3/д	Добове відбирання газу, варіант- 2 млн м3/д	Загальні обсяги паливного газу млн м3 за 4 доби	
			Варіант -1	Варіант- 2
Дашавське ПСГ	10-10-10-10	13-13-13-0	0.200	0.348
Більче-Волицько-Угерське ПСГ	20-20-20-20	17-17-17-30	0.804	0.958
Сумарне відбирання	30-30-30-30	30-30-30-30	1.004	1.306

Різниця в паливному газу у двох варіантах експлуатації ПСГ є рівною 0.302 млн. м3. За ціни 8 грн за один м3 газу різниця у вартості варіантів експлуатації складає 2.416 млн грн. Реалізація другого варіанту забезпечує економію значних паливних чи фінансових ресурсів.

Існує потенціал оптимізації і у випадку добової експлуатації ПСГ. Згідно плану необхідно відібрати із Більче-Волицько-Угерське ПСГ 50.00 млн м3/д. Є два варіанти реалізації такого плану – відібрати саме 50.00 млн м3/д, або відібрати перші 12 год 57 млн м3, а інші 12 год 43 млн м3. Для реалізації першого плану необхідно 0.448, а для другого – 0.428 млн м3 газу. Різниця складає 0.02 млн м3 газу. За вартості 8 грн за один м3 отримуємо, що другий варіант дешевший за перший на 160 000 грн.

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження продемонстрували наявність значного потенціалу оптимізації на етапі планування оперативних добових та прогнозних режимів експлуатації ПСГ. Відбирання газу треба оптимально планувати на непікові періоди експлуатації ПСГ, а відбирання забезпечити в такий спосіб, щоб забезпечувати максимальну сумарну піковість ПСГ на прогнозованих інтервалах часу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Iwaszczuk N., Prytula M., Prytula N., Pyanylo Y., Iwaszczuk A. Modeling of Gas Flows in Underground Gas Storage Facilities. Energies. (2022). 15(19):7216. <https://doi.org/10.3390/en15197216>
- [2] Prytula, M., Prytula, N., Pyanylo, Y., Prytula, Z., & Khymko, O. (2022). Planning optimal operating modes of underground gas storage facilities as part of the gas transmission system. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(2) (117), 76–91. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258953>
- [3] Prytula, N., Prytula, M., & Boyko, R. (2017). Mathematical modeling of operating modes of underground gas storage facilities. Technology Audit and Production Reserves, 4(1(36)), 35–42. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2017.109084>
- [4] Prytula, N., Prytula, M., Boyko, R. (2017). Development of software for analysis and optimization of operating modes of underground gas stores. Technology Audit and Production Reserves, 2(3(40)), 17–25. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.128574>

Моделювання коливань пористого шару під дією зовнішнього електричного поля

П'янило Ярослав

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Твардовська Софія

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
sofi.lviv@gmail.com

The modeling of oscillations of a porous layer under the action of an external electric field

Pyanulo Yaroslav

Pidstryhach Institute for Applied Problems
of Mechanics and Mathematics,
National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Tvardovska Sofiya

Pidstryhach Institute for Applied Problems
of Mechanics and Mathematics,
National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
sofi.lviv@gmail.com

Анотація— у роботі вивчаються коливання пористого шару під дією зовнішнього електричного поля. Записані рівняння електромагнітної механіки в частинних похідних та в термінах дробової похідної Капутто. Розв'язано крайову задачу та отримано її розв'язок із застосуванням інтегрального перетворення Лапласа-Карсона. Отримано часові залежності переміщень рідини і твердо фазного каркасу, а також обчислено тиски і напруження, які виникають.

Abstract— the oscillations of the porous layer under the action of the external electric field are studied. The equations of electromagnetic mechanics in partial derivatives and in terms of the fractional Caputo derivative are written. The boundary value problem is solved. Its solution with the application of the integral Laplace-Carson transformation is obtained. Time dependencies of liquid and solid phase framework movements, as well as calculated pressures and stresses that occur are obtained.

Ключові слова — пористе насичене середовище, постійне електричне поле, механоелектромагнітна плоска хвиля, дробова похідна, перетворення Лапласа-Карсона.

Keywords — porous saturated medium, constant electric field, mechanoelectromagnetic plane wave, fractional derivative, Laplace-Carson transform.

I. ВСТУП

В останні роки значну увагу вчені почали інтенсивно вивчати проблему взаємодії механічних та електромагнітних

процесів в реальних тілах з урахуванням їх складної внутрішньої структури. Це є важливим для багатьох природних (грунти, гірські породи, дерево тощо) та штучних (бетон, цегла, композити, кераміка тощо) матеріалів. Такий напрям досліджень потребує вирішення технологічних проблем, які виникають при виявленні підземних родовищ корисних копалин, осушуванні дерева, кераміки, ґрунтів, тощо, з використанням постійного чи періодичного електромагнітного поля; розробці нових, більш інформативних геофізичних поверхневих та свердловинних методів досліджень, які базуються на використанні ефектів взаємодії механічних та електромагнітних полів.

II. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ ПРО КОЛИВАННЯ ПОРИСТОГО ШАРУ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Розглядаємо безмежний пористий насичений розчином електроліту шар ($-l \leq x \leq l$). До поверхонь $x = \pm l$ шару прикладено змінну різницю електричних потенціалів $U = \pm U_a \cos \omega t$, де U_a – амплітуда, ω – циклічна частота. В такому разі в шарі виникає змінне електричне поле, яке буде взаємодіяти із електричними зарядами подвійного електричного шару. Відповідні цій взаємодії пондеромоторні сили приведуть до коливань скелету тіла та порової рідини і їх відносного зміщення. Внаслідок цього виникне збурення електромагнітного поля. Повна система макроскопічних співвідношень для опису

взаємозв'язаних механічних та електромагнітних процесів у тілі (система рівнянь електромагнітної механіки) включає рівняння балансу маси, руху, електромагнітного поля, визначальні та геометричні співвідношення і приведена в роботах [1 – 4].

Створене змінне електричне поле характеризується однією ненульовою компонентою і залежить лише від часу $E = E(t)$. Його компоненти визначаються амплітудою електричного потенціалу на поверхні шару. Для змінної за законом косинуса прикладеної різниці потенціалів амплітуди U_a напруженість електричного поля визначається так

$$E = \frac{U_a}{l} \cos \omega t = E_a \cos \omega t, \text{ де } E_a = \frac{U_a}{l}.$$

Механічні поля будемо визначати із рівнянь, ключова форма яких в лінеаризованому наближенні наведена у роботі[1]:

$$\begin{aligned} & a_1 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial x^2} + a_3 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial t^2} + a_4 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial t^2} + \\ & + a_5 \left(\frac{\partial u^{(2)}}{\partial t} - \frac{\partial u^{(1)}}{\partial t} \right) + a_6 E = 0, \\ & a_2 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial x^2} + b_2 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial x^2} + a_4 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial t^2} + b_4 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial t^2} - \\ & c_1 \left(\frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial t^2} \right) + c_2 \frac{\partial E}{\partial t} + c_3 \frac{\partial u^{(1)}}{\partial x} + c_4 \frac{\partial u^{(2)}}{\partial x} - E = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де коефіцієнти системи (1) визначаються формулами

$$\begin{aligned} & a_1 = \frac{\alpha_{10}^2}{\beta}; \quad a_2 = \frac{\alpha_{10} \alpha_{20} (1 - \nu_f)}{\beta}; \\ & a_3 = -(\alpha_{10} \rho_0^{(1)} + \rho_{12}); \quad a_4 = \rho_{12}; \quad a_5 = A; \quad a_6 = \alpha_{10} f_{e0}^{(1)} \rho_{e0}^{(1)}; \\ & (2) \quad b_2 = \alpha_{20} \left[K_f + \frac{4}{3} G_f - \frac{\alpha_{20} (1 - \nu_f)^2}{\beta} \right]; \\ & b_4 = -(\alpha_{20} \rho_0^{(2)} + a_4); \quad b_6 = -\alpha_{10} f_{e0}^{(1)} \rho_{e0}^{(1)} \left(2 \frac{f_{e0}^{(2)}}{f_{e0}^{(1)}} - 1 \right); \\ & c_1 = \frac{\alpha_{10} \gamma_1 \rho_{e0}^0}{\sigma_{e0}}; \quad c_2 = -\frac{\varepsilon}{\sigma_{e0}}; \quad c_3 = \frac{\alpha_{10} \alpha_{20} \nu_f \gamma_\sigma E_0}{\beta}, \end{aligned}$$

у яких $\vec{u}^{(j)}$ ($j=1,2$) – вектор переміщення фаз, $j=1$ – відповідає поровій рідині, $j=2$ – скелету, \vec{E} – збурення вектора напруженості електричного поля, α_{10} – вихідне значення пористості, $\alpha_{20} = 1 - \alpha_{10}$, $\rho_0^{(j)}$ – вихідні значення густин маси фаз, ν_f – зцементованість; $\beta = \alpha_{10} \beta^{(1)} + \alpha_{20} \beta^{(2)}$, $\beta^{(j)}$ – стисливість фаз, $A = \alpha_{10} \eta / k_p$, η – коефіцієнт в'язкості рідини, k_p – коефіцієнт проникності середовища, K_f і G_f – ефективний модуль

стиску та зсуву, $\rho_{e0}^{(1)}$ – густина електричного заряду, γ_1 – коефіцієнт, який відображає відмінність середньої швидкості рух порової рідини та електричних зарядів, $f_{E0}^{(j)} = \frac{\varepsilon - \varepsilon^{(3-j)}}{\alpha_{1j} (\varepsilon^{(j)} - \varepsilon^{(3-j)})}$, ε – діелектрична проникність

середовища у природному стані, $\varepsilon^{(1)}$ – діелектрична проникність порової рідини, $\varepsilon^{(2)}$ – діелектрична проникність скелета; γ_σ – параметр, який характеризує залежність електропровідності від першого інваріанта ефективних напружень σ_f , σ_{E0} – коефіцієнт електропровідності середовища за відсутності механічних напружень.

Поверхні шару зацмлені. В цьому випадку переміщення і скелету, і рідини на поверхнях $x = \pm l$ дорівнюють нулеві:

$$u(x,t) = 0, \quad v(x,t) = 0, \quad x = \pm l. \quad (2)$$

Для практики лабораторних досліджень зразків пористих матеріалів важливим є знання зв'язку параметрів механічних коливань, збуджених змінним електричним полем, зі структурними та фізико-механічними параметрами матеріалу зразка. Такі відомості є основою кількісних оцінок характеристик матеріалу за результатами вимірювань параметрів коливань. А також важливим є розширення спектру досліджень з використанням дробових похідних.

В наслідок прикладеної до поверхонь шару змінної різниці потенціалів в пористому тілі виникає механоелектромагнітна хвиля. Це явище в літературі носить назву електросейсмічного ефекту[5, 6]. Важливим у дослідженнях є врахування зворотного до нього сейсмоелектричного ефекту. Ці явища дають можливість вивчити такі властивості гірських порід, як літологічна неоднорідність, пористість, насиченість флюїдами, котрі не визначаються традиційними геофізичними методами.

Оскільки ми розглядаємо одномірний випадок, то напруження, що виникають визначаються формулою

$$\sigma = \alpha_{20} \left(\left(K_f - \frac{2}{3} G_f \right) \frac{\partial v}{\partial x} + 2 G_f \frac{\partial v}{\partial x} + \nu_f P^{(1)} \right), \quad (3)$$

де тиск у твердій фазі

$$P^{(2)} = -K_f \frac{\partial v}{\partial x} - (1 - \nu_f) P^{(1)} \quad (4)$$

За нехтування впливом електроосмосу тиск, створений у рідині визначається співвідношення

$$P^{(1)} = \alpha_{10} \left(1 - \beta^{(2)} K_f \right) \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\alpha_{10}}{\beta} \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (5)$$

Останнім часом при дослідження природних та фізичних явищ використовуються похідні дробових порядків за координатною або часовою змінною. Застосування їх за часовою змінною є особливо

ефективним для побудови математичних моделей переносу в пористих матеріалах, оскільки вони враховують пам'ять процесу.

Оператор дробової похідної у термінах Капутто визначається так [7-12]:

$${}^c D_\tau^\alpha \varphi(\tau) := \frac{1}{\Gamma(m+1-\alpha)} \int_0^\tau \frac{\partial^{\alpha+m+1} \varphi(\xi)}{(\tau-\xi)^{\alpha-m}} d\xi \quad (6)$$

де $m = [\alpha]$, – ціла частина дійсного числа,

За таких припущень система (1) записується

$$\begin{aligned} & a_1 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial x^2} + b_2 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial x^2} + b_6 E + a_4 \frac{\partial^{\alpha+1} u^{(1)}}{\partial t} + b_4 \frac{\partial^{\alpha+1} u^{(2)}}{\partial t} - \\ & a_1 \frac{\partial^2 u^{(1)}}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 u^{(2)}}{\partial x^2} + a_6 E + a_3 \frac{\partial^{\alpha+1} u^{(1)}}{\partial t} + a_4 \frac{\partial^{\alpha+1} u^{(2)}}{\partial t} + \\ & + a_5 \frac{\partial^\alpha}{\partial t} (u^{(2)} - u^{(1)}) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Аналітичні підходи до їх розв'язування зводяться до застосування певних інтегральних перетворень: Лапласа, Мелліна тощо. У таких випадках досить часто виникає проблема обернення, тобто відновлення шуканого розв'язку за знайденим його зображенням. Виникають значні труднощі і під час застосування числових методів. У зв'язку з цим застосовують наближені та ітераційні методи розв'язування сформульованих відповідним чином задач математичної фізики.

В математичному плані система диференціальних рівнянь в дробових похідних (7) зводиться до необхідності розв'язування інтегродиференціальних рівнянь типу згортки. Одним із методів розв'язування є застосування інтегрального перетворення Лапласа-Карсона

$$F(s) = s \int_0^\infty e^{-st} f(t) dt.$$

Перетворення Лапласа-Карсона $\mathfrak{Z}(f) = F(s)$ дробової похідної є $\mathfrak{Z}(D_0^\alpha f(t)) = s^\alpha F(s)$. Оскільки у цьому випадку інтегральна згортка в просторі оригіналів переходить в добуток зображень, то в результаті отримується диференціальне рівняння відносно зображень шуканого розв'язку. Для остаточного отримання рішення необхідно від зображень перейти до оригіналу.

Перейдемо до розв'язування сформульованої крайової задачі. Якщо використати перетворення Лапласа – Карсона для похідних оригіналів

$$f^{(n)}(t) \div s^n \left[F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{f^{(k)}(0)}{s^k} \right],$$

то вихідна задача в зображення Лапласа-Карсона має вигляд

$$\begin{aligned} & a_1 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + s(a_3 s - a_5)U + s(a_4 s + a_5)V \\ & + B_1(x, s) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} & a_2 \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + b_2 \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + s[a_3 s + a_5]U + s[a_4 s - a_5]V \\ & + B_2(x, s) = 0 \end{aligned}$$

де,

$$\begin{aligned} B_1(x, s) &= -a_3 s^2 \left[u(x, 0) + \frac{u'(x, 0)}{s} \right] - \\ & - a_4 s^2 \left[v(x, 0) - \frac{u'(x, 0)}{s} \right] - a_5 s [v(x, 0) - u(x, 0)] + a_6, \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} B_2(x, s) &= -a_3 s^2 \left[u(x, 0) + \frac{u'(x, 0)}{s} \right] - \\ & - a_4 s^2 \left[v(x, 0) - \frac{u'(x, 0)}{s} \right] - a_5 s [v(x, 0) - u(x, 0)] + b_6. \end{aligned}$$

Шуканими функціями системи рівнянь (8)-(9) є U та V з нульовими граничними умовами. Розв'язки будемо шукати у вигляді рядів Фур'є за синусами

$$\begin{Bmatrix} U \\ V \end{Bmatrix} = \sum_{n=0}^{\infty} \begin{Bmatrix} u_n \\ v_n \end{Bmatrix} \sin \frac{n\pi x}{l}$$

В системі (8) перейдемо до коефіцієнтів Фур'є. Отримується система рівнянь відносно коефіцієнтів Фур'є, які мають вигляд

$$\begin{aligned} v_n &= \frac{(a_2 b_{1n} - a_1 b_{2n}) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 - a_5 s (b_{1n} + b_{2n}) +}{(a_2^2 - a_1 b_2) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^4 - a_5 s (a_1 + 2a_2 + b_2) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 +} \\ & + \frac{a_3 s^2 (b_{2n} - b_{1n})}{s^2 (a_1 a_4 - a_2 (a_3 + a_4) + a_3 b_2) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 + 2a_5 s^3 (a_3 + a_4)} \\ u_n &= \frac{(b_2 b_{1n} - a_2 b_{2n}) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 + a_5 s (b_{1n} + b_{2n}) +}{(a_1 b_2 - a_2^2) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^4 + a_5 s (a_1 + 2a_2 + b_2) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 -} \\ & + \frac{a_4 s^2 (b_{2n} - b_{1n})}{-s^2 (a_1 a_4 - a_2 (a_3 + a_4) + a_3 b_2) \left(\frac{n\pi}{l} \right)^2 - 2a_5 s^3 (a_3 + a_4)} \end{aligned} \quad (10)$$

III. ЧИСЛОВИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ.

На основі модельних аналітичних та числових побудов отримано часові характеристики для переміщень рідини і твердофазного каркасу. Враховано залежності переміщень рідини і твердофазного каркасу від структурних та фізико-хімічних характеристик пористого середовища. Залежність

переміщень рідини і твердофазного каркасу на усьому часовому проміжку представлено на Рис.1

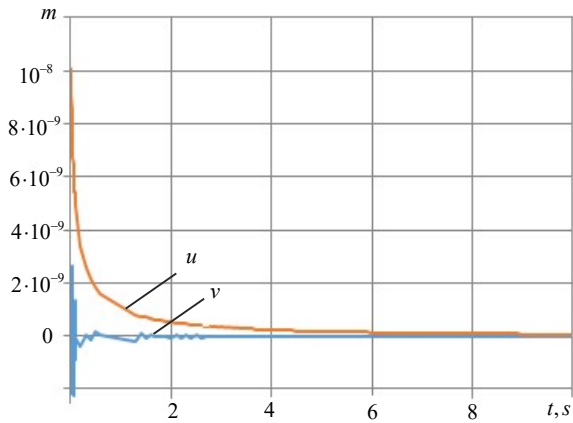


Рис.1 Залежність переміщень рідини u та скелету v від часу

Досліджено також залежність напружень та тисків від величини напруженості електричного поля.

IV. ВИСНОВКИ

В результаті обчислень встановлено, до коливання скелету та рідини осцилюють на усьому часовому проміжку і починаючи від $t = 0.1s$ спостерігається загасання коливань скелету та порової рідини. Такі дослідження є кількісною оцінкою характеристик матеріалу. Характер коливань для тиску і напружень має загасаючий характер і повторення екстремумів із певним періодом.

З отриманих результатів випливає, що характерною є нелінійна залежність амплітуди коливань і фази від параметрів проникності, пористості та звивистості. При збільшенні пористості у вказаному діапазоні амплітуда коливань спочатку зменшується, а потім збільшується. Це ж стосується і залежності амплітуди від коефіцієнта проникності. Збільшення звивистості приводить до збільшення амплітуди коливань скелету.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Tvardovska S. Influence of external electric field on parameters of mechanical waves in saturated porous medium. – Task quarterly. – Vol.17, No. 3 – 4. 2013, Pp. 215 – 222
- [2] Фізико–математичне моделювання складних систем / Я. Й. Бурак, Є. Я. Чапля, Т. С. Нагірний та ін.; під ред. Я. Й. Бурака, Є. Я. Чаплі. – Львів:СПОЛІОМ, 2004. – 264 с.
- [3] Biot M.A. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated Porous Solids I. Low frequency range // J. Acoust. Soc. Amer., 1956. – Vol. 28. – №2. – P.168-178 .
- [4] Pride S. R. Electro seismic wave properties / S. R. Pride, M. W. Haartsen // Journal of the Acoustic Society of America. – 1996. – № 100. – P. 1301-1315.
- [5] Твардовська С. Р. Електросейсмічний ефект в пористих насичених тілах. Тези доповідей конференції молодих учених із сучасних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача (25–27 травня 2009 року) Львів, – 2009 – С.101.
- [6] Лящук Д. Н. До вивчення впливу постійного електричного поля на сейсмічні хвилі / Д. Н. Лящук, В. Ф. Кондрат, С. Р. Твардовська // Геодинаміка : науковий журнал / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, Національний університет "Львівська політехніка", Державна служба геодезії, картографії та кадастру України, Інститут геофізики імені С. І. Субботіна НАН України [та інші] ; головний редактор К. Р. Третяк. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – № 2 (11). – С. 175–177
- [7] Васильев В. В., Симак Л. А. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. – Киев: Научное издание НАН Украины, 2008 – 256 с.
- [8] Mainardi F., Gorenflo R. Time–fractional derivatives in relaxation processes: a tutorial survey. // Fractional calculus and applied analysis. – 2007. – vol. 10, 3. – p. 269 – 308.
- [9] Проекційно-ітераційні методи розв’язування прямих та обернених задач переносу / Я. П’янило. – Львів: Сплайн, 2011. – 248 с. – іл.
- [10] П’янило Я. Д. Застосування похідних дробових порядків для дослідження хвильових процесів у пористих середовищах за дії зовнішнього електричного поля / Я. Д. П’янило, С. Р. Твардовська / XIII Міжнародна науково-технічна конференція «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів»: тези доповідей (Львів, 7-9 листопада 2014 р.). – Кременчук, 2014. – С.47-48.
- [11] Qureshi, S., & Yusuf, A. (2019). Fractional derivatives applied to MSEIR problems: Comparative study with real world data. The European Physical Journal Plus, 134(4), 171
- [12] Yang X. J., Advanced Local Fractional Calculus and Its Applications, World Science Publisher, New York, USA, 2012.

Моделювання Процесу Збору Газу в Підземних Сховищах

Ярослав П'янило

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Ганна Лянце

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
anna.lyantse@gmail.com

Назар Лопух

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
lopuh.nazar@gmail.com

Галина П'янило

Інститут прикладних проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Modeling of the Gas Collection Process in Underground Storage

Yaroslav Pyanylo

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of
Ukraine,
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Anna Lance,

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy
of Sciences of Ukraine,
Lviv, Ukraine
anna.lyantse@gmail.com

Nazariy Lopuh

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy
of Sciences of Ukraine,
Lviv, Ukraine
lopuh.nazar@gmail.com

Halyna Pyanylo

Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of
Ukraine,
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Анотація—В роботі досліджується процес роботи підземного сховища газу (ПСГ). Побудовано аналітичний спосіб розрахунку параметрів гідравлічної ув'язки існуючих способів збору газу в підземних сховищах. Отримані теоретичні результати апробовано на модельних задачах.

Abstract— The paper examines the operation process of the underground gas storage (GSG). An analytical method for calculating the parameters of the hydraulic connection of the existing methods of gas collection in underground storage

facilities has been developed. The obtained theoretical results were tested on model problems..

Ключові слова — математичне моделювання, процеси гідрогазодинаміки, газотранспортна система, підземні сховища газу.

Keywords— mathematical modeling, processes of hydrogas dynamics, gas transportation system, underground gas storages.

I. ВСТУП

При відбиранні газу з підземного сховища (ПСГ), як і при його видобуванні з родовища, використовують в основному два способи збору: шлейфовий (кожна із свердловин має окреме з'єднання із газозбірним пунктом); колекторний (до одного шлейфу-колектора приєднано декілька свердловин). В математичному плані шлейфове підключення простіше і легше піддається формальному опису та алгоритмізації. За умов колекторного підключення для розрахунку параметрів роботи свердловин застосовувався, в основному, числовий алгоритмічний підхід. Як і кожний з числових способів, він має свої переваги та недоліки. Тому поряд із шлейфовим є зміст розглянути аналітичний спосіб визначення параметрів роботи свердловин при колекторному їх підключенні.

Основними технологічними об'єктами, які приймають участь у відбиранні газу, є пласт, вибійна зона свердловини, робоча колона, обв'язка свердловини, шлейф та газозбірний пункт. При моделюванні такої системи необхідно мати моделі кожного з об'єктів.

Метою роботи є моделювання та побудова гідравлічної ув'язки системи пласт підземного сховища газу-газозбірний пункт (ГЗП) з врахуванням особливостей поведінки функції тиску в околі свердловини.

II. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ, ЯКІ ПРИЙМАЮТЬ УЧАСТЬ В ЗБОРІ ГАЗУ.

Фільтрація газу в пласті підземного сховища в нестационарному випадку описується нелінійним диференціальним рівнянням в частинних похідних [1,4]

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_x h}{\mu \chi} \frac{\partial p^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_y h}{\mu \chi} \frac{\partial p^2}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k_z h}{\mu \chi} \frac{\partial p^2}{\partial z} \right) = 2\alpha_n m h \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{p}{\chi} \right) + 4m h q_p$$

яке має місце в трьохвимірній області $\Omega_3 \subset R^3$, що займає пласт ПСГ. На Ω_3 задана множина точок (множина свердловин) з координатами $\{x_i, y_i\}$, $i = 1, \dots, n$ та значення тисків $p(x_i, y_i, z_i, t_0)$ в цих точках в момент часу t_0 . В рівнянні позначено: k_u – проникність пласту в напрямі u , μ – динамічна в'язкість газу, χ – коефіцієнт стисливості, h – товщина пласту, m – пористість пласту, α_n – коефіцієнт газонасиченості, q – густина відбору, p_{st} – значення атмосферного тиску в стандартних умовах ($p_{st} = 0,1033$ МПа, $T_A = 293$ К).

Основні співвідношення зв'язку між тисками для технологічних об'єктів, які приймають участь в роботі ПСГ є наступні.

Зв'язок пластового тиску p_{pl} з вибійним p_v [2,3]

$$p_{pl}^2 - p_v^2 = \left(\frac{A_1}{k_{pl}} + \frac{A_2}{k_v} \right) q_0 + \left(\frac{B_1}{k_{pl}^{1.5}} + \frac{B_2}{k_v^{1.5}} \right) q_0^2 = Aq_0 + Bq_0^2, \quad (4)$$

$$A_1 = \frac{1}{h\pi} \mu p_s \ln \frac{R_k}{R_c}, \quad A_2 = \frac{\mu p_s}{\pi h_x} \ln \frac{2R_c h}{2r_k l_k n_0 h_x + \Theta(n_0)(r_1^2 - r_2^2)},$$

$$B_1 = 12 \cdot 10^{-5} \frac{\rho_0 p_s d^2}{2\pi^2 h^2 m} \left(\frac{1}{R_c} - \frac{1}{R_k} \right),$$

$$B_2 = \frac{\rho_0 p_s d^2}{\pi^2 h_x m} \left(\frac{1}{2r_k l_k n_0 h_x + \Theta(n_0)(r_1^2 - r_2^2)} - \frac{1}{2R_c h} \right).$$

де p_s, q_0, ρ_0 – значення тиску, дебіту свердловини та густини газу в нормальних (стандартних) умовах, d – діаметр зерен породи, m – пористість пласту, k_{pl} та k_b – коефіцієнти проникності в пласті та в околі вибою свердловини, h – середня потужність пласту, h_x – потужність пласту в області свердловини, r_1, r_2 – радіуси обсадної колони (внутрішній) та кільця НКТ (зовнішній) відповідно, R_k – радіус поверхні циліндричної області живлення свердловини, R_c – радіус поверхні циліндра вибійної зони, r_k, l_k – радіус та довжина перфораційного каналу, n_0 – густина перфорації.

Коефіцієнт проникності вибою свердловини [2]

$$k_v = k_{v_0} + k_{v_1},$$

$$k_{v_0} = \frac{A_2}{\Delta_1 p}, \quad k_{v_1} = \frac{B_2 q}{1.5 B_2 + A_2 q \sqrt{k_{v_0}}}, \quad \Delta_1 p = \frac{A_1 q}{k_{pl}} + \frac{B_1 q^2}{k_{pl}^{1.5}} + C q^2.$$

Гирловий тиск свердловини p_g через вибійний p_v [2-4]

$$p_g^2 = p_v^2 e^{-b} - \lambda z \frac{RT}{D} \left(\frac{\rho_0 q_0}{S} \right)^2 \frac{1 - e^{-b}}{b} L = p_v^2 e^{-b} - a_s q_0.$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad b = \frac{2g\Delta h}{zRT}, \quad a_s = \lambda z \frac{RT}{D} \left(\frac{\rho_0}{S} \right)^2 \frac{1 - e^{-b}}{b} L.$$

Коефіцієнт гідравлічного опору

$$\lambda = \left(\frac{Y + \varepsilon + C^{1.5}}{1 + 76C} \right)^{0.2}, \quad \varepsilon = \frac{k_w}{D}, \quad Y = \frac{79}{Re}, \quad C = (2Y)^{10},$$

$$Re = \frac{D v p}{\mu_0 R T} \frac{T + C}{273 + C} \left(\frac{273}{T} \right)^{1.5}, \quad z = \frac{1}{1 + fp},$$

де $f = (24 - 0.21t^\circ C) \cdot 10^{-4}$, а $p(x)$ – вимірюється в атмосферах.

Обв'язка свердловини. Спад тиску на місцевому опорі визначається так [4]

$$\Delta p = \rho \frac{v^2}{2} \xi.$$

Тут v – швидкість руху газу, ξ – коефіцієнт, який залежить від типу місцевого опору. Для обв'язки свердловини побудовано наступну емпіричну формулу

$$\xi = \begin{cases} 201.87 + 18455 e^{-3.1455q}, & q \leq 1.46, \\ 1011.8 - 540.71q + 78.039q^2, & q \geq 1.46. \end{cases}$$

Тут q – дебіт свердловин в м³/сек.

Обчислення спаду тиску на робочій колоні та шлейфах [2-4]

$$p_g = \sqrt{p_v^2 e^{-b} - \lambda z \frac{RT}{D} \left(\frac{M}{S}\right)^2 \frac{1-e^{-b}}{b} L},$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad b = \frac{2gL}{zRT}, \quad M = \rho_0 q_0.$$

У випадку обчислення спаду тиску на шлейфах необхідно покласти $b = 0$.

Визначення середньої температури в лінійних ділянках трубопроводів. [3]

$$t = t_r + (t_0 - t_r)e^{-ax} - D_h \frac{\Delta P}{aL} (1 - e^{-ax}) + \frac{gi}{ac_p} (1 - e^{-ax}),$$

$$i = \frac{\Delta P}{g \rho_c L}, \quad \Delta P = P_0 - P_k, \quad a = \frac{k\pi D}{MC_p}.$$

Середня температура тоді визначається так

$$t_c = t_r + (t_0 - t_r) \frac{(1 - e^{-at})}{aL} - D_h \frac{\Delta P}{aL} \left(1 - \frac{(1 - e^{-at})}{aL}\right) + \frac{gi}{ac_p} \left(1 - \frac{(1 - e^{-at})}{aL}\right).$$

III. АНАЛІТИЧНИЙ СПОСІБ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРАВЛІЧНОЇ УВ'ЯЗКИ ШЛЕЙФОВО-КОЛЕКТОРНОГО СПОСОБУ ЗБОРУ ГАЗУ.

При відборі-закачуванні газу в ПСГ в більшості випадків мають місце три типи з'єднань свердловини з ГЗП.

1. Свердловина з'єднана з ГЗП окремим (індивідуальним) шлейфом. При цьому об'єктами шлейфово-колекторної системи є: пласт; вибійна зона; робоча колона (НКТ); обв'язка свердловини; шлейф; ГЗП. Для розрахунку названих об'єктів використовуються їх математичні моделі з врахуванням місцевих опорів.

2. Шлейф є спільним для двох свердловин. В даному випадку до елементів, названих в пункті 1, додаються наступні: пласт, вибійна зона та робоча колона (НКТ) для другої свердловини і трійник з відповідним місцевим опором, через який друга свердловина підключена до шлейфу.

3. Шлейф-колектор є спільним для двох свердловин, причому робоча колона ближньої свердловини з'єднана із шлейфом горизонтальним трубопроводом (шлейф 2). В останній тип з'єднання входять всі елементи другого разом з врахуванням обв'язки другої свердловини та додаткового шлейфу, який з'єднує другу свердловину з основним шлейфом.

При побудові алгоритму гідравлічної ув'язки пласт ПСГ-ГЗП необхідно враховувати вказані вище типи з'єднань.

Вихідною для моделювання роботи системи пласт підземного сховища газу-газозбірний пункт є формула

$$p_{nl}^2 - p_{gsp}^2 e^b = Aq + 2DFG + \left[B + (a_s + a_o + a_r) e^b \right] q^2.$$

В залежності від вхідних даних вона дозволяє розв'язувати ряд задач, які при цьому виникають.

Алгоритми вирішення основних задачі.

Задача 1. При відомому розподілі пластового тиску і заданій величині об'ємного відбору Q_z визначити тиск на вході в газозбірний пункт.

Алгоритм розв'язування.

1. За прийнятими моделями обчислюється значення пластового тиску в координатах свердловин.

2. Задається початкове значення тиску на вході ГЗП (як правило, з практики відомі межі зміни даного тиску).

3. За обчисленими значеннями коефіцієнтів для кожної i -ої ($i = 1, I$), де I - кількість працюючих свердловин, свердловини і заданими значеннями тисків знаходяться дебіти свердловин q_i як розв'язок рівняння.

4. Сумарний відбір знаходиться згідно формули

$$Q_r = \sum_{i=1}^I q_i.$$

5. Обчислюється різниця $\delta = Q_z - Q_r$.

6. Якщо $\delta > 0$, то з певним кроком зменшується тиск на вході в ГЗП і повертається до третього кроку.

7. Якщо $\delta < 0$, то з певним кроком збільшується тиск на вході в ГЗП і повертається до третього кроку.

8. Вказані вище обчислення проводяться до цього часу, поки не буде виконуватись нерівність $\delta < \varepsilon$, де ε - задана точність.

Задача 2. При відомому розподілі пластового тиску і заданій величині вхідного тиску на ГЗП визначити об'ємний відбір газу Q_z зі сховища.

Алгоритм розв'язування даної задачі зводиться до визначення коренів q_i , ($i = 1, I$) останнього рівняння та їх сумуванні, тобто

$$Q_z = \sum_{i=1}^I q_i.$$

Задача 3. Аналогічно до задачі 2 при відомому розподілі пластового тиску і заданій мінімальній величині вхідного тиску на ГЗП визначити максимальний об'ємний відбір газу Q_z зі сховища.

IV. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ "ПЛАСТ ПІДЗЕМНОГО СХОВИЩА ГАЗУ – ГАЗОЗБІРНИЙ ПУНКТ" (КОЛЕКТОРНИЙ ЗБІР).

Розрахунок параметрів роботи газосховища зводиться до розв'язання комплексу взаємопов'язаних задач. До основних задач відносяться:

- розрахунок термогазодинамічних параметрів газосховища пласта, свердловин, шлейфово-колекторної системи;
- розрахунок параметрів стану об'єктів газосховища, фізичних констант, гідравлічних еквівалентів, тощо;

- розробка алгоритмів, які б узгоджували розрахункові статичні і динамічні параметри, знаходили параметри спряження окремих задач.

Розглянемо колектор, до якого приєднано n свердловин (рис. 1). На рисунку позначено: $p_{pl,i}$ - значення пластового тиску, $p_{v,i}$ - вибійного тиску, $p_{g,i}$ - гирлового тиску в околі i -ї свердловини.

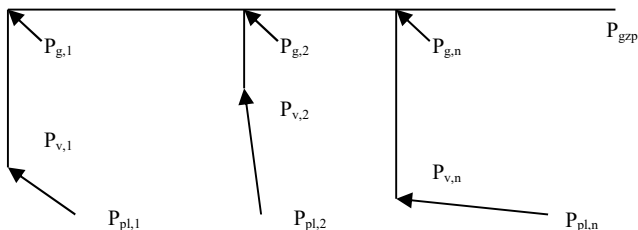


Рис. 1. Схематичне подання колекторного збору газу.

Алгоритм розрахунку

1. Задамо початкове значення дебіту q_1 останньої від ГЗП свердловини. Тоді мають місце наступні співвідношення:

$$p_{pl,1}^2 - p_{v,1}^2 = A_1 q_1 + B_1 q_1^2,$$

$$p_{v,1}^2 - p_{g,1}^2 \exp(b_1) = a_{s,1} q_1^2 \exp(b_1).$$

2. З останніх двох рівностей маємо, що

$$p_{g,1}^2 = p_{pl,1}^2 \exp(-b_1) - [A_1 \exp(-b_1) q_1 + (B_1 \exp(-b_1) + a_s) q_1^2].$$

$$p_{g,1}^2 - p_{g,2}^2 = a_{sh,12} q_1^2,$$

то гирловий тиск на другій свердловині 3. Оскільки обчислюється за формулою

$$p_{g,2}^2 = p_{pl,1}^2 \exp(-b_1) - [A_1 \exp(-b_1) q_1 + (B_1 \exp(-b_1) + a_{s,1}) q_1^2] - a_{sh,12} q_1^2.$$

4. Зв'язок між пластовим тиском в околі другої свердловини та відповідним гирловим тиском задається формулою

$$p_{pl,2}^2 - p_{g,2}^2 \exp(b_2) = A_2 q_2 + (B_2 + a_{s,2} \exp(b_2)) q_2^2.$$

5. З останнього рівняння знаходиться q_2 . Для двох послідовних підключень свердловин до колектора можна записати

$$p_{g,2}^2 - p_{g,3}^2 = a_{sh,23} (q_1 + q_2)^2,$$

звідки знаходиться $p_{g,3}$.

6. Для третьої свердловини має місце співвідношення

$$p_{pl,3}^2 - p_{g,3}^2 \exp(b_3) = A_3 q_3 + (B_3 + a_{s,3} \exp(b_3)) q_3^2,$$

яке дає можливість знайти q_3 .

7. Аналогічно процес продовжується до n -ної свердловини.

8. Рівність, що пов'язує n -ну свердловину з ГЗП буде мати вигляд

$$p_{g,n}^2 - p_{gzp}^2 = a_{sh,n,gzp} (q_1 + q_2 + \dots + q_n)^2.$$

9. Умова закінчення алгоритму. Якщо задається відбір газу Q_z з колектора, то за такого алгоритму можливі варіанти:

$$1 - Q_r = q_1 + q_2 + \dots + q_n < Q_z;$$

$$2 - Q_r = q_1 + q_2 + \dots + q_n = Q_z;$$

$$3 - Q_r = q_1 + q_2 + \dots + q_n > Q_z.$$

Якщо виконується друга умова, то поставлена задача розв'язана. Для заданого відбору газу на ГЗП необхідно підтримувати тиск p_{gzp} .

Якщо виконується перша умова, то для розв'язку поставленої задачі необхідно збільшити відбір газу з найдавшої свердловини, тобто замість q_1 взяти $q_1 + \Delta q$ та повторити поданий вище алгоритм.

За виконання третьої умови необхідно замість q_1 взяти $q_1 - \Delta q$ та повторити поданий вище алгоритм.

Очевидно, що процес необхідно продовжувати до цього часу, поки не буде виконуватись нерівність

$$|Q_r - Q_z| \leq \varepsilon,$$

де ε - задана точність обчислення сумарного відбору газу з колектора.

Описаний вище алгоритм має місце в тому випадку, коли відомо об'ємний відбір газу з пласта-колектора.

Якщо ж задається значення тиску на ГЗП $p_{gzp,z}$, то описаний алгоритм дозволяє визначити відбір газу зі сховища. Для розв'язку поставленої задачі описаний алгоритм повторюється з тією різницею, що умовою його закінчення буде рівність $p_{gzp,r} = p_{gzp,z}$, де

$$p_{gzp,r}^2 = p_{g,n}^2 - a_{sh,n,gzp} (q_1 + q_2 + \dots + q_n)^2.$$

Висновки. Моделювання наявності КС та стоків вздовж трубопроводів з використанням узагальнених функцій дозволяє значно спростувати дослідження їх впливу на режимні параметри руху газу та обчислювальний процес їх розрахунку. Аналітичний підхід до моделювання ГТС на основі побудови контурних рівнянь дає можливість не тільки обчислювати значення параметрів руху газу, а й визначати напрям його руху.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Лапук Б.Б. Теоретические основы разработки месторождений природных газов. - Москва-Ижевск: институт компьютерных исследований, 2002, 296 с.,
- [2] Вечерік Р.Л., П'янило Я.Д., Притула М.Г., Хаєцький Ю.Б. Математичне моделювання процесу руху газу в системі пласт підземного сховища газу-магістральний газопровід // Нефть і газ. - 2004. - № 6.-С. 83-89.
- [3] П'янило Я.Д., Притула М.Г. Дослідження впливу параметрів пласту та привібійної області свердловини на розрахунок дебіту свердловини.// Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології. Вісник ДУ "Львівська політехніка" - 2002. - №392. - С. 45-49.
Тетерев И.Г., Шешуков Н.Л., Нанівский Е.М. Управление процессами добычи газа. - М.: Недра. - 1981. - 248 с.

Solving multiparameter inverse problems of eddy current measurements of electrophysical parameters profiles of flat objects using the method of a priori information accumulation

Volodymyr Halchenko, Ruslana Trembovetska, Volodymyr Tychkov, Natalia Tychkova
Department of Instrumentation, Mechatronics and Computerized Technologies
Cherkasy State Technological University
Cherkasy, Ukraine

halchvl@gmail.com, r.trembovetska@chdtu.edu.ua, v.tychkov@chdtu.edu.ua, n.b.tychkova.asp21@chdtu.edu.ua

Розв'язання багатопараметричних обернених задач вихрострумових вимірювань профілів електрофізичних параметрів плоских об'єктів з використанням методу накопичення апріорної інформації

Володимир Гальченко, Руслана Трембовецька, Володимир Тичков, Наталія Тичкова
кафедра приладобудування, мехатроніки та комп'ютеризованих технологій
Черкаський державний технологічний університет
Черкаси, Україна

halchvl@gmail.com, r.trembovetska@chdtu.edu.ua, v.tychkov@chdtu.edu.ua, n.b.tychkova.asp21@chdtu.edu.ua

Abstract— A method of simultaneous identification of electrophysical parameters profiles of flat testing objects is proposed which systematically combines measurement and computing resources integrating a surrogate model created on the basis of a priori accumulated information regarding the

process of eddy current measurement and stochastic global optimization in the search space of reduced dimensionality.

Keywords— eddy current measurements, multiparameter inverse problem, electrophysical parameters, approximation method of information accumulation, profile identification, deep neural network, surrogate optimisation

Анотація— Запропоновано метод одночасної ідентифікації профілів електрофізичних параметрів плоских об'єктів контролю, який системно поєднує вимірювальні та обчислювальні ресурси, що інтегрують у собі сурогатну модель, створену на основі апріорно накопиченої інформації щодо процесу вихрострумових вимірювань, та стохастичну глобальну оптимізацію у просторі пошуку скороченої вимірності.

Ключові слова— вихрострумові вимірювання, багатопараметрична обернена задача, електрофізичні параметри, апроксимаційний метод накопичення інформації, ідентифікація профілів, глибока нейронна мережа, сурогатна оптимізація

I. INTRODUCTION

Determination of near-surface profiles of magnetic permeability and electrical conductivity related to the material properties of the testing objects (TO) using non-destructive eddy current measurements allows tracing the structural features of the product material. It is of great importance when

testing a number of technological operations to improve their surface, monitoring changes in condition during the operation, and studying the chemical and phase composition. Currently, there are a number of options for implementing approaches to solving this problem. However, almost all studies are aimed at establishing one of the profiles [1]. On the other hand, it is desirable to determine both profiles simultaneously as a result

of a single measurement. Papers [2-5] contain information on methods for solving the problem under study, based on a combination of experimental studies with measurements and mathematical modelling of electromagnetic fields. The main focus of these works is on optimization methods for solving inverse problems, where the model of the forward problem is iteratively used to estimate unknown TO parameters, which are then interpreted as preliminary measurement predictions. The difference between the predicted and measured results is minimized in terms of the root mean square deviation by varying the distributions of the electrophysical parameters of the TO, but this method cannot solve the problem in a reasonable time due to its high computational cost. Therefore, researchers' efforts are mainly focused on obtaining of "inexpensive", somewhat simplified and suitable models of the direct problem [3], but it cannot solve the problem. To solve it unambiguously, works [6-8] offered to carry out measurements in the mode of multifrequency excitation of the probe, which provides additional information and reduces the inverse problem to the correct one. However, it complicates measurements and requires some time. Nevertheless, the problem of finding an acceptable compromise between the model accuracy and the amount of resources is still not fully resolved and requires further research.

These studies are based on an original approach to solving of the multiparameter inverse problem of eddy current measurements using an approximation method to identify the profiles of electrophysical properties of the TO. The novelty of the proposed approach lies in the use of surrogate models of the testing process not only to increase the efficiency of computations, but also as a priori information carriers. Such surrogate models, characterized by response hypersurfaces with high spatial dimensionality, can be created in advance for measurement tasks taking into account the geometric parameters of TO and multifrequency measurements. For this purpose, a modern mathematical apparatus is used, in particular, the theory of electromagnetic field, the theory of integral equations, deep neural networks (NN), the theory of experiment planning, the theory of inverse problems and the theory of optimisation. On the basis of the relevant mathematical models, a set of computer programs has been developed to quickly and efficiently establish the appropriate distributions of electromagnetic conductivity and magnetic permeability of the near-surface layers of the TO.

II. IDENTIFICATION OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS PROFILES

The first stage of solving the multiparameter inverse problem of eddy-current measurements using the approximation method is to create a surrogate model as a carrier of a priori information about the TO.

Using the algorithm for constructing a surrogate model proposed by the authors [9-12, 17] and taking into account the conditions of the measurement and possible changes in the influencing factors on the eddy current probe (ECP) signal, a metamodel was created taking into account the electrophysical parameters of the TO, the height z of the ECP above the TO, and the frequency f of the excitation current. The electromotive force (EMF) of the ECP is described by the following approximation dependence $E = f(\sigma(d), \mu(d), z, f, \dots)$, where $\sigma(d)$ is the electric conductivity profile, $\mu(d)$ is the magnetic permeability along the depth d of the near-surface layer of the TO. To build a metamodel, a set of initial data is created by means of deep artificial NN (ANN), which is obtained by

calculating according to "exact" mathematical models [13] at the points of the multidimensional experiment plan [14, 15] based on LP_τ -sequences.

A set of initial data with the number of points $N_{\text{training}} = 6012$ was created for electrophysical parameters varying within 15 % of the technological tolerance. In the study, a profile with $\sigma_{\text{min}} = 2 \cdot 10^6$ Sm/m, $\sigma_{\text{max}} = 10.1 \cdot 10^6$ Sm/m, $\mu_{\text{min}} = 1$, $\mu_{\text{max}} = 30$ was considered nominal.

Within the specified limits of changes in electrophysical parameters, the distribution of $\sigma(d)$ and $\mu(d)$ is calculated according to a typical profile [16]. When constructing metamodels using ANN, the best ones were selected based on the mean absolute error MAE, root mean square error RMSE and the coefficient of determination R^2 . Thus, deep NNs were obtained, namely, for the real Re-MLP-4-30-30-20-10-1 and imaginary Im-MLP-4-25-25-20-10-1 parts of the ECP EMF for 102 influencing factors. The adequacy and informativeness of the created metamodels were tested by Fisher's criterion. The mean absolute percentage error (MAPE) of the approximation of these metamodels is: for the real part of the EMF Re(E) - 0.0033 % and for the imaginary part Im(E) - 0.0145 %, respectively.

Using the obtained metamodels, multistarts were carried out to solve the inverse problem by stochastic global extremum search algorithms [11, 17, 18], with MAPE errors ranging from 4.25 % to 8.92 %, which is a satisfactory result. Thus, this result is due to the fact that deep NNs were created. The essential nonlinear topology of the response function, characterised by a large number of variables for the objective function, has significant difficulties in finding the global optimum due to the "curse" of dimensionality.

In order to reduce the dimensionality of the space, the PCA method was used, which involves analysing the eigenvector and selecting the most influential factors. As a result, 50 influential factors were selected, for which metamodels were built according to the above scheme. In this case, the following surrogate models were obtained: Re-MLP-4-13-13-12-10-1 and Im-MLP-4-13-13-12-10-1, which have MAPEs of 0.00944 % and 0.0138 %, respectively. As in the previous case, to find a solution, we performed multistarts and obtained profiles of magnetic permeability and electrical conductivity with MAPE errors (Table I). Subsequently, we returned to the original factor space.

TABLE I. VALUES OF THE MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR OF MULTISTARTS FOR MAGNETIC PERMEABILITY AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY PROFILES

№ multistarts	Re(E) = - 0.9914; Im(E) = - 1.664	
	MAPE, % for $\mu(d)$	MAPE, % for $\sigma(d)$
1	0,925	0,343
2	2,96	1,159
3	2,56	3,04
4	3,096	1,67
5	1,174	0,231
6	0,371	0,238
7	2,853	1,285
8	3,724	2,222
9	2,903	1,148
10	1,041	0,497
11	1,838	2,535
12	1,144	1,166

Table II shows the values of the nominal magnetic permeability profile μ_{nom} along the depth of the near-surface layer and the measured μ_{meas} obtained by averaging the calculations, with the corresponding value of the relative error at each point of the profile $\delta_i, \%$. The same, but for the electrical conductivity profile, is given in Table III. The averaging gives a reliable value of the mean absolute percentage error of the solution for the magnetic permeability profiles $MAPE_{\mu} = 0.55 \%$ and $MAPE_{\sigma} = 0.38 \%$ for the electrical conductivity of the TO.

TABLE II. VALUES OF THE NOMINAL AND MEASURED MAGNETIC PERMEABILITY PROFILE

№	Profile μ_{nom}	Profile μ_{meas}	Relative error $\delta_i, \%$
1	1,09063	0,890029	18,3931306
2	1,36066	1,362545	0,13853571
3	1,80452	1,807766	0,17988163
5	2,41317	2,417654	0,18581368
5	3,17436	3,180399	0,19024307
...			
47	27,22591	27,281007	0,20236973
48	27,22943	27,284536	0,20237662
49	27,23201	27,287121	0,20237581
50	27,23389	27,289002	0,20236551
51	27,23524	27,29036	0,20238485

TABLE III. VALUES OF THE NOMINAL AND MEASURED ELECTRICAL CONDUCTIVITY PROFILE

№	Profile σ_{nom}	Profile σ_{meas}	Relative error $\delta_i, \%$
1	10026650	10077800	0,510140476
2	9550977	9599370	0,506681149
3	9102475	9148260	0,502995065
4	8679595	8722920	0,499159235
5	8280873	8321880	0,495201412
...			
47	2256315	2262280	0,264369115
48	2224534	2230310	0,259649886
49	2194569	2200170	0,255220957
50	2166316	2171750	0,250840598
51	2139677	2144960	0,246906426

CONCLUSION

The approximation approach proposed by the authors consists in a systematic combination of both measuring and computing resources that perform modelling functions directly in the measuring circuit when building testing systems. The approach integrates methods and tools for creating a priori mathematical models based on previously obtained quality testing data and experimentally recorded actual measurement results, i.e. field tests. Thus, for the first time in the course of research, it has been offered:

- a general methodology for multiparametric eddy current measurements of the structural properties of objects subjected to technological operations of surface hardening using a priori accumulated data;
- a method for accumulating a priori data on flat objects in their interaction with an electromagnetic field;
- a method for simultaneous measurement at the same excitation frequency of profiles of electrophysical parameters of flat objects subjected to technological operations of surface hardening;
- software for implementing the proposed method.

REFERENCES

- [1] N. Ida and N Meyendorf, Handbook of Advanced Nondestructive Evaluation. Springer International Publishing, 2019.
- [2] J. Burkhardt, "Determination of the conductivity and thickness of conductive layers on conductive base materials," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 11, no. 7, pp. 1-9, 2019.
- [3] T. Theodoulidis, "Impedance of a coil above a planar conductor with an arbitrary continuous conductivity depth profile," *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 59, no. 4, pp. 1179-1185, 2019.
- [4] A. C. Lahrech, B. Abdelhadi, M. Feliachi, A. Zaoui and M. Naïdjate, "Electrical conductivity identification of a carbon fiber composite material plate using a rotating magnetic field and multi-coil eddy current sensor," *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, vol. 83, no. 2, 20901, 2018.
- [5] M. Lu, Forward and inverse analysis for non-destructive testing based on electromagnetic computation methods. Thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Science and Engineering, 2018.
- [6] J. Hampton, A. Fletcher, H. Tesfalem, A. Peyton and M. Brown, "A comparison of non-linear optimisation algorithms for recovering the conductivity depth profile of an electrically conductive block using eddy current inspection," *NDT & E International*, vol. 125, 102571, 2022.
- [7] M. Lu, Y. Xie, W. Zhu, A. Peyton and W. Yin, "Determination of the Magnetic Permeability, Electrical Conductivity, and Thickness of Ferrite Metallic Plates Using a Multifrequency Electromagnetic Sensing System," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. vol. 15, no. 7, pp. 4111-4119, 2019.
- [8] R. Huang, Electromagnetic Computation for Eddy Current Inspection. Thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy in the Faculty of Science and Engineering, 2021.
- [9] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska and V. V. Tychkov, "Surrogate synthesis of frame eddy current probes with uniform sensitivity in the testing zone," *Metrology and measurement systems*, vol. 28, no. 3, P. 551-562, 2021.
- [10] В. Я. Гальченко, Р. В. Трёмбовецька, В. В. Тичков, "Синтез вихрострумових перетворювачів з об'ємною структурою системи збудження, що реалізує однорідну чутливість в зоні контролю," *Технічна електродинаміка*, № 3, С. 10-18, 2021.
- [11] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, V. V. Tychkov, M. M. Sapogov, K. Gromaszek, S. Smailova and S. Luganskaya, "Additive neural network approximation of multidimensional response surfaces for surrogate synthesis of eddy-current probes," *Przegląd elektrotechniczny*, no. 9, pp. 46-49, 2021.
- [12] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska and V. V. Tychkov, "Surrogate synthesis of excitation systems for frame tangential eddy current probes," *Archives of electrical engineering*, vol. 70, no. 4, pp. 743-754, 2021.
- [13] R. Trembovetska, V. Halchenko and C. Bazilo, "Inverse multi-parameter identification of plane objects electrophysical parameters profiles by eddy-current method," in *Smart Technologies in Urban Engineering*, vol. 536, pp. 202-212, 2023.
- [14] V. Ya. Halchenko, R. V. Trembovetska, V. V. Tychkov and N. B. Tychkova, "Creation of seven- and eight-factor uniform computer designs of experiment with low discrepancies," in *Measurement and Control in Complex System*, pp. 1-5, 2022.
- [15] В. Я. Гальченко, Р. В. Трёмбовецька, В. В. Тичков, Н. Б. Тичкова, "Оцінювання ефективності однорідних багатofакторних планів експерименту на основі квазіпослідовностей Соболя," *Метрологічні аспекти прийняття рішень в умовах роботи на техногенно-небезпечних об'єктах*, С. 56-61, 2022.
- [16] В. Я. Гальченко, В. В. Тичков, А. В. Сторчак, Р. В. Трёмбовецька, "Відновлення приповерхневих радіальних профілів електрофізичних характеристик циліндричних об'єктів при вихрострумових вимірюваннях із наявністю апріорних даних. Формування вибірки для побудови сурогатної моделі," *Український метрологічний журнал*, № 1, С. 35-50, 2020.
- [17] В. Я. Гальченко, Р. В. Трёмбовецька, В. В. Тичков, Накладні вихрострумові перетворювачі з однорідною чутливістю, Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2021.
- [18] В. Я. Гальченко, А. Н. Якимов, Д. Л. Остапушенко, "Поиск глобального оптимума функций с использованием гибрида мультиагентной роевой оптимизации с эволюционным формированием состава популяции," *Информационные технологии*, № 10, С. 9-16, 2010.

Комп'ютерне моделювання на основі стохастичних моделей генерації штучних даних

Файнзільберг Леонід
кафедра біомедичної кібернетики
Національний технічний університет «КПІ імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
fainzilberg@gmail.com

Computer modeling using stochastic models of artificial data generation

Fainzilberg Leonid
Department of Biomedical Cybernetics
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
fainzilberg@gmail.com

Анотація — розвивається спосіб експериментальної оцінки ефективності комп'ютерних алгоритмів шляхом використання стохастичних моделей генерації штучних даних, що мають статистичні характеристики адекватні реальним спостереженням. Показано, що такий підхід надає змогу отримати інформацію, яка недоступна під час оброблення реальних даних, що спостерігаються в умовах спотворень.

Abstract — the method of experimental evaluation of the effectiveness of computer algorithms is being developed by using stochastic models of artificial data generation, which have statistical characteristics adequate to real observations. It is shown that this approach makes it possible to obtain information that is not available during the processing of real data observed under distortion conditions.

Ключові слова — стохастична модель; генерація штучних даних; алгоритм навчання; діагностична ознака

Keywords — stochastic model; generation of artificial data; distortion; learning algorithm; diagnostic feature

I. ВСТУП

Нагадаємо, що загальний термін «технологія» поєднує два поняття – «техно» (грец. «technē» – мистецтво) та «логія» (грец. «logos» – наука). Тобто технологія це мистецтво перетворити деяку сировину в продукт, а наука технології полягає у виборі найбільш ефективних методів такого перетворення. З цього випливає, що наука створення інформаційних технологій (ІТ) полягає в побудові найбільш ефективних комп'ютерних алгоритмів, що реалізують окремі етапи ІТ.

Часто неможливо формально побудувати ефективний комп'ютерний алгоритм, ґрунтуючись на мінімумі (максимумі) деякого критерію \mathfrak{J} . В таких ситуаціях не залишається іншого, як будувати алгоритм неформально та оцінювати його ефективність експериментально.

Для проведення таких досліджень не завжди доцільно, а іноді і неможливо спиратися на реальні спостереження. Тоді використовують штучні дані, які генеровані за допомогою математичних моделей.

Саме такий підхід надав нам змогу свого часу отримати новий результат під час дослідження модифікованого методу оптимальної зупинки, який, на відміну від традиційного, передбачає послідовний пошук найкращої альтернативи з заданою поступкою [1].

Продемонструємо результативність використання генеративних моделей на прикладах розв'язування двох інших задач.

II. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ АЛГОРИТМІВ РОЗЕНБЛАТА ТА КОЗИНЦЯ

Нехай у N -вимірному просторі ознак x_1, \dots, x_N задана скінчена вибірка спостережень

$$X = \{(x_1^{(N)}, y_1), \dots, (x_K^{(N)}, y_K)\}$$

з відомою приналежністю до класів V_1 і V_2 , що виражена в формі

$$y_j = \begin{cases} +1, & \text{якщо } x_j^{(N)} \in V_1, \\ -1, & \text{якщо } x_j^{(N)} \in V_2, \end{cases} \quad j = 1, \dots, K,$$

де $x_j^{(N)} \triangleq (x_1, \dots, x_N)$, $j = 1, \dots, K$, а K – кількість елементів.

Передбачається, що спостереження класів V_1 і V_2 , можуть бути розділені лінійною дискримінантною функцією $D(x) = \langle w, x \rangle \triangleq \sum_{i=0}^N w_i x_i$, в якій запис $\langle w, x \rangle$ означає скалярний добуток $(N+1)$ -вимірних векторів параметрів $w = (w_0, w_1, \dots, w_N)$ та розширених векторів $x = (1, x_1, \dots, x_N)$.

Задача полягає в визначенні вектора параметрів w_0, w_1, \dots, w_N за якими спостереження класів V_1 і V_2 можна розділити.

Відомо два алгоритми розв'язування такої задачі: алгоритм Розенבלата та алгоритм Козинця [2].

Алгоритм Розенבלата передбачає такі кроки:

Крок 1. Довільним чином назначають початкове значення вектора $w^{(0)}$.

Крок 2. Послідовно вибирають спостереження $x_j^{(t)} = (x^{(N)}, 1)$, $j = 1, \dots, K$ з навчальної вибірки і визначають значення дискримінантної функції $D(w^{(t-1)}, x_j^{(t)})$ для поточного значення вектора $w^{(t-1)}$, $t = 1, 2, \dots$.

Крок 3. Якщо виконується умова $D(w^{(t-1)}, x_j^{(t)}) y_j > 0$, тобто знаки дискримінантної функції $D(w^{(t-1)}, x_j^{(t)})$ і індикаторної змінної y_j співпадають, то корекція $w^{(t-1)}$ не здійснюється. Якщо ж виконується умова

$$D(w^{(t-1)}, x_j^{(t)}) y_j < 0, \quad (1)$$

що свідчить про помилку під час класифікації $x_j^{(t)}$, то вектор параметрів модифікують таким чином:

$$w^{(t)} = \begin{cases} w^{(t-1)} + \gamma x_j^{(t)}, & \text{якщо } D(w^{(t-1)}, x_j^{(t)}) < 0 \text{ та } y_j = +1, \\ w^{(t-1)} - \gamma x_j^{(t)}, & \text{якщо } D(w^{(t-1)}, x_j^{(t)}) > 0 \text{ та } y_j = -1, \end{cases}$$

де $0 < \gamma < 1$ – константа, що визначає темп корекції.

Кроки 2-3 повторюють доки всі точки вибірки будуть правильно класифіковані.

Відмінність алгоритму навчання Козинця полягає в тому, що на кожному кроці $t = 1, 2, \dots$ проводиться пошук такого спостереження $x_j^{(t)} = (1, x^{(N)})$, $j = 1, \dots, K$ вибірки, яке за поточним значенням $w^{(t-1)}$ неправильно класифікується. Якщо таких спостережень немає $\forall j = 1, \dots, K$, то алгоритм завершує свою роботу.

Якщо ж знайдено спостереження $x_j^{(t)}$, для якого виконується умова (1), то проводиться корекція $w^{(t-1)}$ наступним чином:

$$w^{(t)} = (1 - \gamma^{(t)}) \cdot w^{(t-1)} + \gamma^{(t)} \cdot x_j^{(t)},$$

де

$$\gamma = \arg \min_{\gamma} \left| (1 - \gamma^{(t)}) \cdot w^{(t-1)} + \gamma^{(t)} \cdot x_j^{(t)} \right|.$$

Відомі оцінки зверху числа ітерацій t^0 обох алгоритмів:

$$t^0 \leq \begin{cases} \frac{Q^2}{\varepsilon^2} & \text{для алгоритма Розенבלата,} \\ \frac{Q^2}{\varepsilon^2} \ln \frac{Q^2}{\varepsilon^2} & \text{для алгоритма Козинця,} \end{cases} \quad (2)$$

де $Q = \max_{i \in \{1, K\}} |x_i^{(N)}|$, $\varepsilon = \min_{x^{(N)} \in \text{Co}(X)} |x^{(N)}| > 0$, а $\text{Co}(X)$ – опукла оболонка множини X .

На перший погляд з порівняння оцінок (2) може здаватися, що алгоритм Розенבלата завжди збігається з меншим числом ітерацій. Однак, такий висновок не правомірний, оскільки згідно з [3] наведені оцінки (2) досить грубі. Тому питання про те, який з алгоритмів має переваги за швидкістю досі залишався відкритим.

Розглянемо результати статистичний експерименту, який надає відповідь на це питання і передбачав багаторазову генерацію масивів двовимірних векторів:

$$Q_m^{(j)} = \{q_{m,t} = (x_{m,k}, y_{m,k}), k = 1, \dots, K\}, j = 1, 2, m = 1, \dots, M_0,$$

які заздалегідь можуть бути розділені лінійною дискримінантною функцією. Для цього на кожному m -му випробуванні випадковим чином обираються параметри «прихованої» прямої, відносно якої генеруються точки $q_{m,k} \in Q_m^{(1)}$ і $q_{m,k} \in Q_m^{(2)}$, $k = 1, \dots, K$.

Генеровані дані паралельно оброблювались алгоритмами Розенבלата і Козинця. Для кожного $m = 1, 2, \dots, M_0$ визначають кількості ітерацій $U_{m,1}(K)$ і $U_{m,2}(K)$, витрачених першим і другим алгоритмами під час оброблення фіксованої кількості спостережень $K = 10, \dots, 200$.

Моменти t_0 зупинку алгоритмів визначає умова

$$\langle w^{t_0}, x_j \rangle \cdot y_j > 0, \quad \forall j = 1, \dots, K.$$

За результатами M_0 експериментів обраховується процентне співвідношення кількості ітерацій $U_1(K)$ і $U_2(K)$ витрачених кожним алгоритмом під час навчання, що надає змогу визначити лідера за швидкодією.

Експерименти показали, що для $K < 40$ приблизно в 20 % випадків алгоритми потребували однакової кількості ітерацій. Зі збільшенням K алгоритм навчання Козинця виявлявся абсолютним лідером: $U_1(K) > U_2(K)$ (рис. 1).

Експерименти також показали, що швидкість збіжності алгоритму Козинця менш чутлива до розташування точок у просторі ознак.

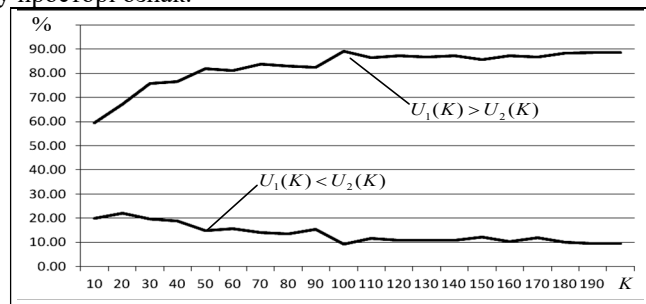


Рис 1. Залежності процента перемог алгоритмів від кількості спостережень

III. ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ЗА МЕТОДОМ ФАЗАГРАФІЇ

Фазаграфія – інноваційний метод в кардіології, який передбачає перехід від скалярного сигналу $z(t)$ до траєкторії на фазовій площині з координатами $z(t)$, $\dot{z}(t)$, де $\dot{z}(t)$ – швидкість зміни сигналу [4]. Клінічні випробування на вибірках реальних спостережень підтвердили діагностичну цінність оригінальної ознаки – показника β_T симетрії зубця T ЕКГ у фазових координатах.

Однак такими експериментами не обмежилося дослідження цінності β_T . Виявилось, що навіть в однієї здорової людини показник β_T може зазнавати чималих змін протягом короткого інтервалу часу. Тому потрібно було побудувати доказовий експеримент, який би підтвердив, що динаміка β_T свідчать про його високу чутливість, а не обумовлена випадковими збуреннями, що супроводжують реєстрацію ЕКГ у реальних умовах.

Такий експеримент з елементами дедуктивного підходу (від загальної моделі до конкретних висновків) проводиться за допомогою стохастичної моделі породження штучної ЕКГ реалістичної форми [5]. Відповідно до моделі послідовність циклів ЕКГ генерують шляхом випадкових спотворень параметрів A_i , μ_i , $b_i^{(1)}$, $b_i^{(2)}$ еталонного циклу (корисного сигналу)

$$z_0(t) = \sum_i A_i \exp\left[-\frac{(t-\mu_i)^2}{2[b_i(t)]^2}\right], \quad (2)$$

який має вигляд суми несиметричних функцій Гауса.

Несиметричність окремих фрагментів еталону (2), зокрема, симетрії зубця T досягається за рахунок виконання умови

$$b_i(t) = \begin{cases} b_i^{(1)}, & \text{якщо } t < \mu_i, \\ b_i^{(2)}, & \text{якщо } t > \mu_i \end{cases} \quad b_i^{(1)} \neq b_i^{(2)}$$

Доведена теорема, згідно з якою функція $z_0(t)$ та її перша похідна $\dot{z}_0(t)$ неперервні у всіх точках області визначення, в тому числі, в точках $t = \mu_i$, в яких функції $b_i(t)$ розривні внаслідок виконання $b_i^{(1)} \neq b_i^{(2)}$. Це дало змогу організувати доказовий експеримент, який полягав у багаторазовій генерації та обробленні методом фазаграфії штучних ЕКГ за еталонами (2) з відомими значеннями $\beta_T = b_T^{(2)} / b_T^{(1)}$ (рис. 2).

Така організація експерименту надала змогу оцінювати точність визначення діагностичної ознаки β_T еталонного

циклу $z_0(t)$. Зауважимо, що під час оброблення реальних ЕКГ, спотворених завадами, інформація про точне значення β_T недоступна.

Експерименти показали, що в широкому діапазоні $\beta_T \in [0,3 \ 3,0]$ під час оброблення $M \geq 50$ циклів модельної ЕКГ в умовах випадкових неадитивних збурень $\varepsilon_{Tm}^{(1)} \leq 50\%$, $\varepsilon_{Tm}^{(2)} \leq 50\%$ та адитивної завади $h(t_k) \leq 50\%$ метод фазаграфії забезпечує високу точність оцінки β_T : стандартна помилка $\hat{\beta}_T$ становила лише 0,021, а середня відносна помилка не перевищувала 2,64%, що достатньо для практичного використання методу.

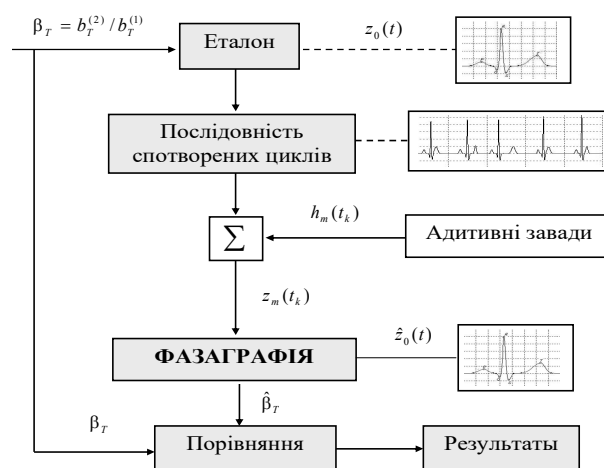


Рис 1. Схема доказового експерименту

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Л. Файнзильберг., Ю. Яременко Комп'ютерне моделювання модифікованого методу оптимальної зупинки. Proceedings of the international scientific conference «Information technologies and computer modeling». 2018. Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника. С. 270-273.
- [2] L.S. Fainzilberg N.A. Matushevych. Comparative evaluation of convergence's speed of learning algorithms for linear classifiers by statistical experiments method. Cybernetics and computer engineering. 2018. N. 2 (192). P. 6-22. <https://doi.org/10.15407/kvt192.02>
- [3] M. Schlesinger, V. Hlavac. Ten lectures on statistical and structural pattern recognition. 2002. Dordrecht- Boston- London: Kluwer Academic Publishers. 519 p.
- [4] L.S. Fainzilberg. New Approaches to the analysis and interpretation of the shape of cyclic signals. Cybernetics and systems analysis. 2020. Vol. 56, N. 4. P. 665-674. <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00283-0>
- [5] L.S. Fainzilberg., T.Yu. Bekler, G.A. Glushauskene. Mathematical model for generation of artificial electrocardiogram with given amplitude-time characteristics of informative fragments. Journal of automation and information sciences. 2011. Vol. 43. Issue 9. P. 20-33. <https://doi.org/10.1615/JAutomatInfScien.v43.i9.20>

Програмний комплекс «WodFil» для аналізу ефективності роботи засипного фільтра води

Юрій Білушак

Відділ числових методів
математичної фізики
Інститут прикладних проблем
механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Кафедра обчислювальної
математики і програмування
Національний університет
“Львівська політехніка”,
Львів, Україна
byixx13@gmail.com

Ольга Чернуха

Відділ числових методів
математичної фізики
Інститут прикладних проблем
механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Кафедра обчислювальної
математики і програмування
Національний університет
“Львівська політехніка”,
Львів, Україна
zaliznuchna6@gmail.com

Анастасія Чучвара

Відділ числових методів
математичної фізики
Інститут прикладних проблем
механіки і математики
ім. Я.С. Підстригача НАНУ
Львів, Україна
davydoka@gmail.com

Software complex «WodFil» for the analysis of the efficiency of the backfill water filter

Yurii Bilushchak

Department of numerical methods of
mathematical physics
Pidstryhach Institute of Applied
Problems of Mechanics and
Mathematics of the National Academy of
Sciences of Ukraine
Department of Computational
Mathematics and Programming
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
byixx13@gmail.com

Olha Chernukha

Department of numerical methods of
mathematical physics
Pidstryhach Institute of Applied
Problems of Mechanics and
Mathematics of the National Academy of
Sciences of Ukraine
Department of Computational
Mathematics and Programming
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
zaliznuchna6@gmail.com

Anastasiia Chuchvara

Department of numerical methods of
mathematical physics
Pidstryhach Institute of Applied
Problems of Mechanics and
Mathematics of the National Academy
of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
davydoka@gmail.com

Анотація— На основі розв’язків крайових задач дифузії, що описують процеси перенесення забруднюючих речовин водним поровим розчином через засипний фільтр та супроводжуються хімічною реакцією пом’якшення води, розроблено програмний комплекс «WodFil». Програмний комплекс дозволяє виконувати апроксимацію крайової умови на нижній границі фільтра за відомими експериментальними даними; обчислювати концентрації частинок забруднення, які переносяться поровим розчином або сорбовані на скелеті фільтра; визначати результуючу твердість води тощо.

Abstract— The "WodFil" software complex was developed on the basis of the solutions of the initial-boundary value problems of diffusion, which describe the processes of the transfer of pollutants by the aqueous porous solution through the backfill water filter and are accompanied by the chemical reaction of water softening. The software complex allows to approximate the boundary condition at the lower boundary of the filter based on the known experimental data; calculate the concentration of pollution particles that are transported by the porous solution or sorbed on the filter skeleton; determine the resulting water hardness, etc.

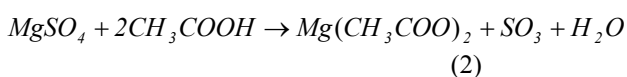
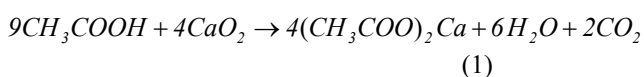
Ключові слова—програмний комплекс; математична модель; фільтр води; конвективна дифузія; сорбція; пом'якшення води

Keywords—software complex; mathematical model; water filter; convective diffusion; sorption; water softening

I. ВСТУП

Проблема запезпечення належної кількості та якості води є однією з найбільш важливих і актуальних задач сьогодення. Наявність різноманітних груп хімічних речовин є характерним для природних вод, незалежно від того чи зазнавали вони техногенного впливу. До складу води можуть входити, зокрема, основні іони, аніони, катіони, мікроелементи, органічні та біогенні речовини, поверхнево-активні речовини, пестициди, феноли, нафтопродукти та ін. [1]. Присутність домішкових компонент у воді визначають її твердість, лужність та окисненість. Перевищення допустимої кількості розчинених у воді речовин можуть призводити до корозії або накопичення осаду на елементах водопровідної системи, сприяти утворенню накипу на побутових приладах, що призводить до зменшення теплопровідності нагрівних елементів, а відтак до збільшення обсягів використання електроенергії [2, 3]. Споживання такої води відзначається не тільки погіршенням смакових характеристик, але і несприятливим наслідком для здоров'я, зокрема, розвитком хронічних захворювань. Тому актуальною є проблема очищення води та покращення її якості, як з метою зменшення негативного впливу на здоров'я, так і зменшення непрямих економічних витрат.

Для очищення природних та забруднених вод до стану питної використовуються різні типи фільтрів: механічні, хімічні, фізико-хімічні, електричні, біологічні, тощо [1]. Кожен з цих типів фільтрів є ефективним для певного виду забруднення. До хімічних методів очищення забруднених вод належить нейтралізація кислот і окиснення мінеральних сполук. Наприклад, для вилучення надлишків катіонів кальцію та магнію, що визначають твердість води, використовують наступні хімічні реакції [4]



Механічні фільтри, робота яких базується на процесах сорбції, видаляють з води важкі метали, хлорорганічні речовини, тощо.

Визначення оптимальних характеристик фільтрів, режимів та часу їх ефективної роботи базується насамперед на моделюванні процесів перенесення, що в них відбуваються [5, 6]. Для розрахунку фільтрів, як правило, використовують комп'ютерне моделювання, розв'язуючи числовими методами нелінійні задачі фільтрації питних або стічних вод.

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Розглянуто процес фільтрування забрудненої твердої води механічним (засипним) фільтром. Вважаємо, що водний розчин містить частинки забруднення у вигляді важких металів або органічних сполук, які здатні сорбуватися на скелеті засипних елементів фільтрувальної установки. Крім цього вода характеризується значною твердістю, зумовленою наявністю в ній розчинених солей

кальцію і/або магнію. При формулюванні вихідних співвідношень моделі перенесення забруднення у засипному фільтрі води прийнято, що довільна інфінітесимально мала область тіла складається зі скелета та водного розчину, який заповнює поровий простір. Крім того, в процесі фільтрації скелет не деформується, і пористість залишається постійною. Частинки забруднення знаходяться у двох станах – у конвективно рухомому розчині і на поверхні скелету. На поверхню тіла подається реагент, який спричиняє хімічну реакцію типу (1) або (2). У результаті такої реакції утворюються частинки солей кальцію або магнію, води та газу, який миттєво випаровується. Речовини, що залишилися після реакції мігрують з водним розчином. В якості основних процесів розглянуто конвективну дифузію домішок та їх сорбцію скелетом.

Частинкам, які утворюють основу тіла присвоєно значення індексу $j = 0$, частинкам водного розчину – індекс $j = 1$, домішковим частинкам забруднюючої речовини у конвективно рухомому розчині – $j = 2$ і у зв'язаному стані – $j = 3$, сполуці одного з основних катіонів – індекс $j = 4$, частинкам реагента – індекс $j = 5$, частинкам солей кальцію або магнію, які утворилися в наслідок хімічної реакції – індекс $j = 6$ та молекулам газу, які миттєво випаровуються – індекс $j = 7$.

У випадку одномірної (вертикальної) конвективної дифузії масоперенесення домішок у пористому шарі в безрозмірних змінних $t = k_2\tau$, $x^{(\alpha)} = (k_2/D_2)\xi^{(\alpha)}$ (τ – час, ξ – радіус-вектор біжучої точки, k_2 – кінетичний коефіцієнт сорбції, D_2 – коефіцієнт дифузії другої компоненти, $\alpha = \overline{1,3}$) зводиться до форми:

рівняння масоперенесення домішкових частинок, які сорбуються на скелет, у станах $j = 2,3$

$$\frac{\partial c_2(t,x)}{\partial t} = d_2 \frac{\partial^2 c_2(t,x)}{\partial x^2} - v \cdot \frac{\partial c_2(t,x)}{\partial x} - a_2 c_2(t,x);$$

$$\frac{\partial c_3(t,x)}{\partial t} = a_2 c_2(t,x),$$

рівняння масоперенесення одного з основних катіонів ($j = 4$) і реагента ($j = 5$), що вступають у реакцію

$$(1 + a_{44}) \frac{\partial c_4(t,x)}{\partial t} = d_4 \frac{\partial^2 c_4(t,x)}{\partial x^2} - v \frac{\partial c_4(t,x)}{\partial x} - \sum_{j=1,5,6,7} a_{4j} \frac{\partial c_j(t,x)}{\partial t}$$

$$(1 + a_{55}) \frac{\partial c_5(t,x)}{\partial t} = d_5 \frac{\partial^2 c_5(t,x)}{\partial x^2} - v \frac{\partial c_5(t,x)}{\partial x} - \sum_{j=1,4,6,7} a_{5j} \frac{\partial c_j(t,x)}{\partial t}$$

рівняння масоперенесення частинок нерозчинної речовини, що утворилися в наслідок хімічної реакції ($j = 6$)

$$(1 - a_{66}) \frac{\partial c_6(t,x)}{\partial t} = d_6 \frac{\partial^2 c_6(t,x)}{\partial x^2} - v \frac{\partial c_6(t,x)}{\partial x} + \sum_{j=1,4,5,7} a_{6j} \frac{\partial c_j(t,x)}{\partial t}$$

балансове рівняння для миттєво випаровуваного газу

$$\frac{\partial c_7(t, x)}{\partial t} = 0,$$

рівняння перенесення частинок води

$$(1 - a_{11}) \frac{\partial c_1(t, x)}{\partial t} = d_1 \frac{\partial^2 c_1(t, x)}{\partial x^2} - v \frac{\partial c_1(t, x)}{\partial x} + \sum_{j=4,5,6,7} a_{1j} \frac{\partial c_j(t, x)}{\partial t}$$

Тут $c_j(t, x)$ – масова концентрація компоненти j ; $d_j = D_j/D_2$, D_j – коефіцієнт дифузії j -ї компоненти; $a_2 = 1$, $a_3 = k_3/k_2$, k_3 – кінетичний коефіцієнт десорбції, $a_{kj} = \frac{\bar{v}_k \rho}{v_j}$ ($k, j = 1, 4, 5, 6$).

Прийнято, що в початковий момент часу механічний фільтр є чистим, його поровий простір заповнений незабрудненою важкими металами водою, проте, цей розчин характеризується сталою підвищеною твердістю. Крім того, для $t = 0$ реагент у тіло ще не поступив, хімічна реакція ще не відбулась і нема продуктів цієї реакції. Для $t > 0$ на верхню поверхню тіла подається забруднений водний розчин підвищеної твердості зі сталою концентрацією важких металів, а також однакова кількість реагенту для пом'якшення води. Враховано, що на верхній поверхні фільтра утворюється стала кількість речовини, що випадає в осад. На нижній границі фільтра є відомою (або може бути виміряною) значення функції концентрації важких металів $c_2(t, x)$ в певні моменти часу.

З використанням інтегральних перетворень отримано розв'язок описаної крайової задачі конвективної дифузії частинок забруднення з урахуванням сорбційного процесу, якщо на верхній границі шару діє стале джерело маси, а на нижній границі побудований апроксимаційний поліном заданого степеня за відомими експериментальними даними в певні моменти часу.

III. ОПИС ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «WODFIL»

На основі отриманих розрахункових формул для концентрації частинок забруднення, які переносяться поровим розчином та частинок, які сорбовані на скелеті фільтра, розроблено програмний комплекс «WodFil» для дослідження процесів очищення від забруднення у водному фільтрі (рис. 1). Пакет програм «WodFil» розроблено в середовищі Lazarus IDE v2.2.2, модулі пакету написано на мові Pascal.

Пакет програм «WodFil» дозволяє виконувати апроксимацію крайової умови на нижній границі фільтра за відомими експериментальними даними на основі полінома заданого степеня; обчислювати концентрацію частинок забруднення, які переносяться поровим розчином; розраховувати концентрацію частинок забруднення, які сорбовані на скелеті фільтра; визначати вихідну (результуючу) твердість води за співвідношенням кількості катіону до кількості реагенту, поданого на поверхню фільтра з метою пом'якшення води за обраною хімічною реакцією.

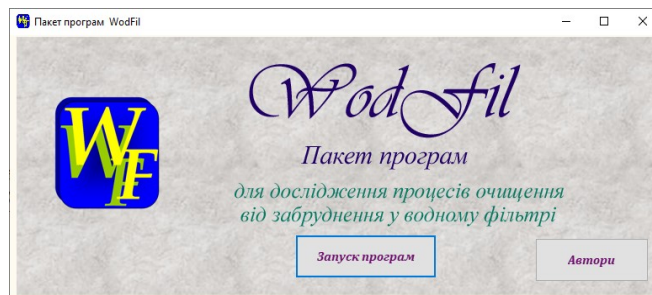


Рис. 1. Головне вікно комплексу програм «WodFil»

Пункт головного меню «Запуск програм» активізує вікно пакету «Вхідні дані задачі» (рис.2), призначене для введення наступних наборів вхідних даних:

Параметри фільтра

Експериментальні дані на нижній границі фільтра

Вибір степені апроксимаційного полінома.

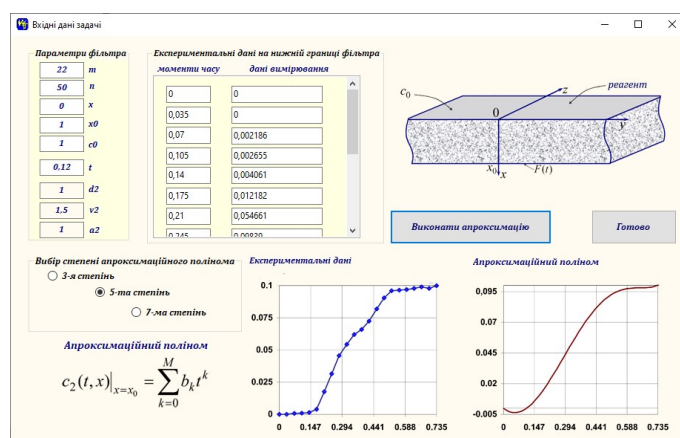


Рис. 2. Вікно «Вхідні дані задачі» після виконання апроксимації

В поле «Параметри фільтра» вносимо значення параметрів задачі, де

m – кількість точок розбиття вздовж осі Ox ;

n – кількість експериментальних даних концентрації забруднення у водному розчині на нижній границі фільтра;

x – початкова точка інтервалу обчислення;

x_0 – товщина фільтра;

c_0 – потужність сталого джерела забруднення на верхній границі фільтра;

t – безрозмірний час, в який проводяться обчислення;

d_2 – коефіцієнт дифузії забруднення у водному розчині;

v_2 – коефіцієнт швидкості конвективної дифузії;

a_2 – коефіцієнт інтенсивності сорбції.

В поле «Експериментальні дані на нижній границі фільтра» вносимо значення даних вимірювання концентрації забруднення у водному розчині на нижній границі фільтра у відповідні моменти безрозмірного часу (рис. 2). Після заповнення вільних полів вікна «Вхідні дані задачі» натискаємо кнопку «Виконати апроксимацію». У результаті в даному вікні програма виводить два графіки: «Експериментальні дані» та побудований за цими

експериментальними даними «Апроксимаційний поліном» (рис. 2).

Після побудови апроксимаційного полінома, користувач отримує доступ до вибору необхідної програми пакету «Концентрація частинок забруднення, які переносяться поровим розчином», «Концентрація частинок забруднення, які сорбовані на скелеті фільтра», «Хімічна реакція пом'якшення води».

Вікно з результатами роботи програми «Концентрація частинок забруднення, які переносяться поровим розчином» наведено на рис. 3.

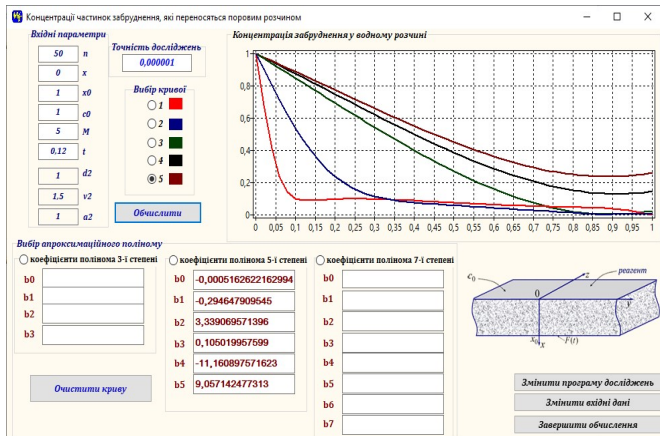


Рис. 3. Вікно «Концентрація частинок забруднення, які переносяться поровим розчином» з п'ятьма побудованими кривими у різні моменти часу

Зазначимо, що поля «Вхідні параметри» та коефіцієнти апроксимаційного полінома автоматично заповнюються числовими даними, що передаються з вікна «Вхідні дані задачі» (рис. 2). Користувачеві необхідно задати точність обчислень, вибрати кількість (від 1 до 5) та колір кривих, які будуть послідовно побудовані на графіку «Концентрація забруднення у водному розчині» (рис. 3). Крім того, програмою передбачено можливість змінити параметри дослідження і відображення нових побудованих кривих на графік.

Аналогічні функціональні можливості передбачені і для програми «Концентрація частинок забруднення, які сорбовані на скелеті фільтра».

Програма «Хімічна реакція пом'якшення води» призначена для визначення твердості води, коли для пом'якшення води на поверхню фільтра подається реагент, який спричинює хімічну реакцію між катіоном та реагентом (рис. 4). У полі «Вибір хімічної реакції» необхідно вибрати одну з чотирьох хімічних реакцій або додати свою, у полі «Визначення твердості води» потрібно ввести значення кількості катіону та кількості реагенту у розчині. У результаті виконання програми виводиться результат із

висновком про твердість води для даної хімічної реакції на основі класифікації твердості води для України.

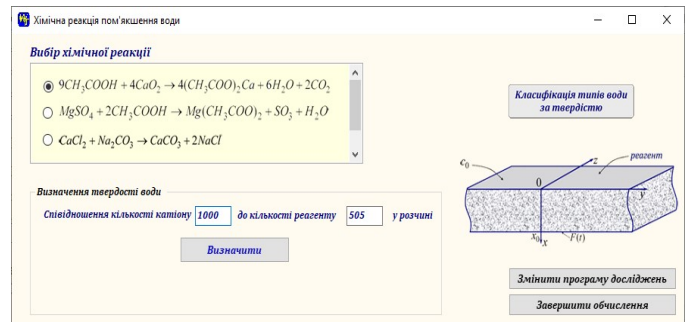


Рис. 4. Вікно «Хімічна реакція пом'якшення води»

У вікні «Хімічна реакція пом'якшення води» передбачено можливість переходу до вікна «Вибір програми пакету WodFil» натисканням клавіші «Змінити програму досліджень».

IV. ВИСНОВКИ

Для кількісного опису процесів масоперенесення частинок забруднення з водним розчином через засипний фільтр води з урахуванням пом'якшення води за допомогою хімічної реакції побудована математична модель на основі балансових співвідношення маси компонент системи. При цьому розглянуто випадок, коли відомі експериментальні дані щодо концентрації домішкової речовини на нижній границі тіла. Знайдено аналітичний розв'язок сформульованої крайової задачі, що дозволяє обчислити концентрації частинок забруднення, які переносяться поровим розчином та частинок, які сорбовані на скелеті фільтра. Одержані розрахункові формули використано при створенні програмного комплексу «WodFil» для розрахунку параметрів роботи фільтрів води з можливістю одночасного пом'якшення води та дослідження відповідних фізико-хімічних процесів на основі крайових задач масоперенесення.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] О. Г. Лановенко, О. О. Остапшина, Словник-довідник з екології, Херсон, ПП Вишемирський В.С., 2013.
- [2] D. Urbancl, D. Goricanec, "Evaluation of Thermal Flow Losses and Increased Consumption of Electricity due to Water Scale Precipitation on Heaters of Domestic Appliances", Int. J. Math. Models Methods Appl. Sci., vol. 1, 2022, pp. 55-61.
- [3] B. Van der Bruggen, K. Everaert, D. Wilms, C. Vandecasteele, "Application of nanofiltration for removal of pesticides, nitrate and hardness from ground water: rejection properties and economic evaluation", J. of Membr. Sci., vol. 193, no. 2, 2001, pp. 239-248.
- [4] В. Малишев, А. Габ, Д. Шахнін, Аналітична хімія. Якісний та кількісний аналіз, Університет «Україна», 2018.
- [5] О. Чернуха, Ю. Білушак, "Математичне та комп'ютерне моделювання процесів конвективної дифузії у двошарових засипних фільтрах води", in Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання, ІТСМ-2017, Прикарпатський нац. унів., Івано-Франківськ, 2017.

Паралельні алгоритми інтерактивного оцінювання об'єктів складних систем

Михайло Яджак

лабораторія моделювання та оптимізації складних систем
Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
yadzhak_ms@ukr.net

Parallel algorithms for interactive evaluation of complex systems objects

Mykhailo Yadzhak

laboratory of modelling and optimization of complex systems
Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics NAS of Ukraine
Lviv, Ukraine
yadzhak_ms@ukr.net

Анотація—У роботі розглянуто методи інтерактивного оцінювання складних мережевих систем з повністю та частково впорядкованим рухом потоків. Для реалізації цих методів в режимі реального часу на сучасних обчислювальних засобах запропоновано ефективні паралельні алгоритми. Результати роботи можуть бути використані для дослідження автотранспортних систем міста, регіону, країни або залізничної транспортної системи.

Abstract—Methods of interactive evaluation of complex network systems with fully and partially ordered flow movement are considered. For realization this methods in real time on modern computing means the effectiveness parallel algorithms are proposed. The results of the work can be used to study the transport systems of the city, region, country or the railway transport system.

Ключові слова—складна система; мережа; інтерактивне оцінювання; агрегація; паралельний алгоритм; прискорення; кластер

Keywords—complex system; network; interactive evaluation; aggregation; parallel algorithm; speed up; cluster

I. ВСТУП

Стан та процес функціонування складних ієрархічно-мережевих систем (СІМС) зазвичай контролюють шляхом регулярних планових оглядів та неперервного моніторингу роботи їх об'єктів. В [1] були запропоновані методи локального, прогностичного й агрегованого оцінювання

системи, які ґрунтуються на результатах планових досліджень. Головним недоліком таких досліджень є значні витрати матеріальних і фінансових ресурсів на їх проведення. Крім цього, задовільні результати останнього огляду можуть суттєво погіршитись до наступного і окремі складові системи можуть стати вже непридатними для подальшого використання. Виходом з таких кризових ситуацій між плановими дослідженнями є неперервний моніторинг СІМС. Як ефективний засіб неперервного моніторингу системи в [2] було запропоновано метод інтерактивного оцінювання її об'єктів. На підставі аналізу взаємодій таких складових СІМС, як потоки та вузли і ребра, що розміщені на лініях руху потоків, можна формувати висновки про їх стан і процес функціонування. Інтерактивне оцінювання дозволяє вчасно відстежити складові системи, стан яких наближається до незадовільного, та оперативно реагувати на виявлені недоліки. Запропонований у [2] метод дозволяє виявляти і локалізувати саме регулярні негативні фактори, що призводять до відхилення від установленого графіка руху потоків. Тобто цей метод можна використовувати для СІМС із повністю впорядкованим рухом потоків, наприклад, для залізничної транспортної системи країни.

У праці [3] розроблено методи інтерактивного оцінювання складних мережевих систем з частково впорядкованим рухом потоків, зокрема автотранспортної системи великого міста, на підставі використання U -статистик [4, 5]. На стані та якості роботи таких систем

позначається значна кількість негативних випадкових чинників (дорожньо-транспортні пригоди, катаклізми, кліматичні умови, загрози терористичних актів або військових дій тощо).

II. ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ

Методи інтерактивного оцінювання об'єктів СІМС використовують значні обсяги вхідних даних, які в переважній більшості випадків надходять неперервно. Крім цього, аби вчасно виявити та локалізувати негативні тенденції в стані та функціонуванні об'єктів системи, таке оцінювання необхідно проводити в режимі реального часу. Тому для ефективної реалізації запропонованих в [2, 3] методів оцінювання складних мережевих систем необхідно розробляти ефективні паралельні алгоритми обчислень на сучасних високопродуктивних засобах [6, 7]. Далі коротко опишемо самі процедури інтерактивного оцінювання та побудовані паралельні алгоритми їх реалізації.

III. ІНТЕРАКТИВНЕ ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ІЗ ПОВНІСТЮ ВПОРЯДКОВАНИМ РУХОМ ПОТОКІВ

У цьому разі інтерактивне оцінювання здійснюється на рівні аналізу взаємодії таких об'єктів СІМС, як потоки P_j ($j = \overline{1, M}$) і лінія $[S_0, S_N]$, що є послідовністю вузлів S_i та ребер D_i ($i = \overline{1, N}$), які їх з'єднують. До того ж $D_i = (S_{i-1}, S_i)$. Вважається, що проходження потоків є повністю детермінованим, тобто визначено графік їх руху.

Процедуру інтерактивного оцінювання об'єктів СІМС можна подати як послідовність наступних кроків [2]:

1) обчислення локальних оцінок якості опрацювання потоку P_j у вузлі S_i та якості проходження потоком P_j ребра D_i за період T_k тривалістю T^0 для $j = \overline{1, M}$; $i = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, K}$;

2) побудова на основі локального оцінювання оцінок першого рівня узагальнення, зокрема:

- оцінок вузла S_i та ребра D_i за результатами опрацювання потоку P_j протягом періоду T^K , де $T^K = KT^0$ для $j = \overline{1, M}$; $i = \overline{1, N}$;
- оцінок вузла S_i та ребра D_i за результатами проходження сукупності потоків $\{P_j\}_{j=1}^M$ протягом періоду T_k для $i = \overline{1, N}$; $k = \overline{1, K}$;
- оцінок опрацювання потоку P_j у послідовності вузлів $\{S_i\}_{i=1}^N$ та проходження потоку ребрами $\{D_i\}_{i=1}^N$, що розміщені на лінії, протягом періоду T_k для $j = \overline{1, M}$; $k = \overline{1, K}$;

3) обчислення на підставі оцінок першого рівня оцінок другого рівня узагальнення, а саме:

- оцінок опрацювання потоку P_j у послідовності вузлів $\{S_i\}_{i=1}^N$ та проходження потоку ребрами $\{D_i\}_{i=1}^N$, які розміщені на лінії, протягом періоду T^K для $j = \overline{1, M}$;
- оцінок вузла S_i та ребра D_i за результатами проходження сукупності потоків $\{P_j\}_{j=1}^M$ протягом періоду T^K для $i = \overline{1, N}$;
- оцінок опрацювання сукупності потоків $\{P_j\}_{j=1}^M$ у послідовності вузлів $\{S_i\}_{i=1}^N$ та проходження цих потоків послідовністю ребер $\{D_i\}_{i=1}^N$, розміщених на лінії, за період T_k для $k = \overline{1, K}$;

4) побудова на основі оцінок другого рівня оцінок третього рівня узагальнення, зокрема:

- оцінок опрацювання сукупності потоків $\{P_j\}_{j=1}^M$ у послідовності вузлів $\{S_i\}_{i=1}^N$ та проходження потоками ребер $\{D_i\}_{i=1}^N$, розміщених на лінії, протягом періоду T^K ;
- агрегованих оцінок проходження сукупності потоків $\{P_j\}_{j=1}^M$ лінією протягом періоду T_k для $k = \overline{1, K}$;

5) обчислення на підставі агрегованих оцінок третього рівня узагальнення усередненої оцінки четвертого рівня проходження сукупності потоків $\{P_j\}_{j=1}^M$ лінією протягом періоду T^K .

Для ефективної реалізації описаної процедури на основі використання примитивів *fork*, *join* [8] запропоновано паралельний алгоритм:

$$\text{fork } (h_1^0, h_2^0, \dots, h_n^0) \text{ join ,}$$

$$\text{fork } (h_1^1, h_2^1, \dots, h_l^1) \text{ join ,}$$

$$\text{fork } (h_1^2, h_2^2, \dots, h_l^2) \text{ join ,}$$

$$\text{fork } (h_1^3, h_2^3, \dots, h_l^3) \text{ join ,}$$

$$h^4 ,$$

де h_i^0 ($i' = \overline{1, l_0}$), h_j^1 ($j' = \overline{1, l_1}$), h_k^2 ($k' = \overline{1, l_2}$), h_l^3 ($l' = \overline{1, l_3}$) – набори автономних паралельних гілок, в кожному з яких обчислюються відповідно локальні оцінки та оцінки першого, другого і третього рівнів узагальнення; h^4 – фрагмент, в якому обчислюється оцінка четвертого рівня узагальнення. Встановлено, що у разі обмеження обсягу обчислювальних ресурсів прискорення паралельного алгоритму [9] буде близьким до оптимального значення.

IV. ІНТЕРАКТИВНЕ ОЦІНЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ ІЗ ЧАСТКОВО ВПОРЯДКОВАНИМ РУХОМ ПОТОКІВ

Розглянемо методику інтерактивного оцінювання складних систем із частково впорядкованим рухом потоків, яка використовує методи U -статистик, на прикладі автотранспортної системи великого міста. Згідно з цією методикою спочатку здійснюється локальне оцінювання, яке складається з таких кроків [3]:

- 1) визначення на елементарних ділянках шляху та перехрестях автотранспортної мережі (АТМ) міста двох сукупностей: середнього та очікуваного часів перебування на них автотранспортних засобів;
- 2) на основі визначених сукупностей часів обчислюються головна $U_{i,j}$ - та $U_{i,j}^m$ -, $U_{i,j}^s$ -, $U_{i,j}^c$ -статистики руху на i -й ділянці за період $[0, t_j]$, де $t_j \in [00:00, 24:00]$;
- 3) на підставі обчислених значень U -статистик формуються уточнені бальні оцінки їхньої поведінки протягом періоду $[0, t_j]$;
- 4) використовуючи метод лінійної агрегації та одержані на попередньому кроці оцінки, обчислюємо узагальнений висновок про поведінку сукупності середнього часу протягом періоду $[0, t_j]$ та фінальний узагальнений висновок за добу.

Далі, на основі локальних оцінок, будуються агреговані висновки про стан елементарних ділянок, ребер, підмереж району та інфраструктури міста загалом, зокрема:

- 1) методом нелінійної агрегації (МНА) отримуємо узагальнений висновок про стан досліджуваної ділянки шляху за M^0 діб;
- 2) аналогічно, використовуючи МНА, будемо узагальнений висновок про стан ребра АТМ, яке складається з L^0 вже оцінених елементарних ділянок;
- 3) методом гібридної агрегації (МГА) одержуємо висновок про стан автошляхів району, враховуючи пріоритетність груп ребер та узагальнений висновок для сукупності ребер n -ї групи, отриманий МНА;
- 4) використовуючи МГА, будемо узагальнений висновок про стан транспортної інфраструктури міста з урахуванням пріоритетності N^0 груп районів та узагальненого висновку для сукупності районів кожної групи, отриманого МНА.

Аналогічно будуються узагальнені висновки для локальних оцінок, які характеризують ефективність роботи світлофорів на автошляхах міста [3].

Запропоновано паралельний алгоритм для обчислення локальних оцінок про стан елементарних ділянок за вказаний період часу. Одержано прискорення цього алгоритму, яке підтверджує його ефективність (найменше значення прискорення дорівнює 4 і для добре структурованої АТМ міста воно може лише зростати).

Для реалізації процедури агрегованого оцінювання запропоновано паралельний алгоритм, який складається з трьох наборів автономних гілок, в яких обчислюються агреговані оцінки відповідно першого, другого та третього рівнів узагальнення, і одного фрагменту, в якому обчислюється оцінка четвертого рівня узагальнення. Одержано прискорення цього алгоритму і для найпростішої структури системи встановлено, що воно буде більшим за 11. Очевидно, що для більш реального прикладу досліджуваної автотранспортної системи великого міста прискорення буде зростати.

V. ВИСНОВОК

Запропоновано ефективні паралельні алгоритми інтерактивного оцінювання об'єктів складних систем з повністю та частково впорядкованим рухом потоків. Як приклади таких систем розглядалися залізнична транспортна система України та автотранспортна система великого міста. Одержано прискорення для побудованих паралельних алгоритмів обчислень, яке підтверджує їх високу ефективність. Побудовані алгоритми зорієнтовані на реалізацію на комп'ютерах з багатоядерними процесорами, кластерах та гібридних архітектурах [10]. Ці результати можна використати під час дослідження в режимі реального часу СІМС у різних предметних галузях, зокрема складних технічних систем [11].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Д. О. Поліщук, "Оцінювання стану колійного господарства Укрзалізниці", *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна*, вип. 41, с. 203–211, 2012.
- [2] Д. О. Поліщук, О. Д. Поліщук, М. С. Яджак, "Комплексне детерміноване оцінювання складних ієрархічно-мережових систем: IV. Інтерактивне оцінювання", *Системні дослідження та інформаційні технології*, № 1, с. 7–16, 2016.
- [3] О. Д. Поліщук, М. С. Яджак, "Аналіз ефективності функціонування автотранспортної системи міста методами U -статистик. I. Інтерактивне оцінювання результатів неперервного моніторингу", *Кібернетика та системний аналіз*, т. 58, № 3, с. 134–145, 2022.
- [4] V. S. Korolyuk, Y. V. Borovskich, *Theory of U-statistics*. Berlin, Springer Science & Business Media, 2013.
- [5] A. J. Lee, *U-statistics: Theory and practice*. London, Routledge, 2019.
- [6] Б. Я. Штейнберг, О. Б. Штейнберг, "Преобразования программ – фундаментальная основа создания оптимизирующих распараллеливающих компиляторов", *Программные системы: теория и приложения*, т. 12, № 1, с. 21–113, 2021.
- [7] The list Top500 [Online]. Available: www.top500.org.
- [8] В. А. Вальковский, *Распараллеливание алгоритмов и программ. Структурный подход*. Москва, Радио и связь, 1989.
- [9] Дж. Ортега, *Введение в параллельные и векторные методы решения линейных систем*. Москва, Мир, 1991.
- [10] О. В. Попов, О. В. Рудич, "До розв'язування систем лінійних рівнянь на комп'ютерах гібридної архітектури", *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки: зб. наук. праць*, вип. 15, с. 158–164, 2017.
- [11] V. E. Berbyuk, M. V. Demidyuk, "Parametric optimization in problems of dynamics and control of motion of an elastic manipulator with distributed parameters", *Mechanics of Solids*, v. 21, is. 2, pp. 78–86, 1986.

Загальна крайова задача для поздовжніх коливань шарнірно закріпленого стрижня

Р.М. Тацій

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна

О.Ю. Чмир

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
o_chmyr@yahoo.com

О.О. Карабин

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
karabynoks@gmail.com

М.І. Кусій

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
kusijmiroslava@gmail.com

The general boundary value problem for the longitudinal oscillations of a hinged rod

R.M. Tatsij

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine

O. Yu. Chmyr

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine
o_chmyr@yahoo.com

O.O. Karabyn

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine
karabynoks@gmail.com

M.I. Kusij

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine
kusijmiroslava@gmail.com

Анотація – Розглянуто крайову задачу для рівняння поперечних коливань стрижня за умов шарнірного закріплення його кінців та із загально прийнятими початковими умовами. Знайдено розв'язки такої задачі у випадку стрижня сталої жорсткості за допомогою концепції квазіпохідних, сучасної теорії систем лінійних диференціальних рівнянь, класичного методу Фур'є та методу редукції.

Abstract – The boundary value problem for the equation of transverse oscillations of a rod under conditions of hinged fastening of its ends and with generally accepted initial conditions was considered. The solutions of a such problem were found in the case of a rod of constant stiffness by using a concept of quasi-derivatives, the modern theory of systems of linear differential equations, the classical Fourier method and a reduction method.

Ключові слова: квазидиференціальне рівняння четвертого порядку, матриця Коші, крайова задача, задача на власні значення, метод Фур'є та метод власних функцій.

Keywords: fourth-order kvazidifferential equation, the Cauchy matrix, the boundary value problem, the eigenvalues problem, the method of Fourier and the method of eigenfunctions.

I. ВСТУП

Одним із методів розв'язування нестационарних крайових задач є прямиий метод, загальна схема реалізації якого полягає в зведенні вихідної задачі до розв'язування двох простіших, взаємозв'язаних задач та застосуванні схеми Фур'є. Цей метод був розроблений при дослідженні процесів теплообміну [1] та загальних крайових задач для рівнянь повздовжніх коливань стрижня [2-4].

Важливу роль в цьому методі відіграє концепція квазіпохідних, яка дозволяє уникнути проблеми множення узагальнених функцій.

В цій роботі вперше використано подібний підхід до дослідження загальних крайових задач для рівняння поперечних коливань стрижня. Слід підкреслити, що в цих задачах за просторовою змінною виникає рівняння в частинних похідних не другого, а четвертого порядку.

II. ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ, ПОБУДОВА РОЗВ'ЯЗКУ

Нехай E, I, ρ, F – сталі, $q(x, t)$ – функція.

Розглянемо диференціальне рівняння

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + \alpha \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{q(x, t)}{a_0}, \quad x \in (0; l), \quad t \in (0; +\infty) \quad (1)$$

з крайовими умовами

$$\begin{cases} w(0, t) = z_{00}(t); & \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}(0, t) = z_{01}(t); \\ w(l, t) = z_{l0}(t); & \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}(l, t) = z_{l1}(t), \end{cases} \quad t \in [0; +\infty) \quad (2)$$

та початковими умовами

$$\begin{cases} w(x, 0) = \varphi(x), \\ \frac{\partial w}{\partial t}(x, 0) = \psi(x), \end{cases} \quad x \in [0; l], \quad (3)$$

де $\alpha = \frac{\rho F}{EI}$, $a_0 \equiv EI$, $z_{00}(t)$, $z_{01}(t)$, $z_{l0}(t)$, $z_{l1}(t) \in C^2(0; +\infty)$, $\varphi(x)$, $\psi(x)$ – кусково-неперервні на $(0; l)$.

Згідно з методом редукції розв'язок задачі (1) - (3) шукаємо у вигляді суми двох функцій

$$w(x, t) = u(x, t) + v(x, t). \quad (4)$$

Визначимо функцію $u(x, t)$ як розв'язок крайової квазістатичної задачі

$$u^{IV}(x, t) = 0, \quad (5)$$

$$\begin{cases} u(0, t) = z_{00}(t); & u''(0, t) = z_{01}(t); \\ u(l, t) = z_{l0}(t); & u''(l, t) = z_{l1}(t) \end{cases} \quad t \in [0; +\infty). \quad (6)$$

В основі методу розв'язування задачі (5), (6) лежить концепція квазіпохідних [5]. Розв'язок крайової задачі (5)-(6) має вигляд

$$u(x, t) = z_{00}(t) + x \cdot \left(-\frac{z_{00}(t)}{l} - \frac{lz_{01}(t)}{3} + \frac{z_{l0}(t)}{l} - \frac{lz_{l1}(t)}{6} \right) +$$

$$+ \frac{x^2}{2!} \cdot z_{01}(t) + \frac{x^3}{3!} \cdot \left(-\frac{z_{01}(t)}{l} + \frac{z_{l1}(t)}{l} \right).$$

Запишемо мішану задачу для функції $v(x, t)$, враховуючи, що функція $u(x, t)$ задовольняє (5)-(6)

$$\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \alpha \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{q(x, t)}{a_0} - \alpha \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad x \in (0; l), \quad t \in (0; +\infty), \quad (7)$$

$$\begin{cases} v(0, t) = 0; & \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}(0, t) = 0; \\ v(l, t) = 0; & \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}(l, t) = 0 \end{cases} \quad t \in [0; +\infty), \quad (8)$$

$$\begin{cases} v(x, 0) = \varphi(x) - u(x, 0), \\ \frac{\partial v}{\partial t}(x, 0) = \psi(x) - \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0), \end{cases} \quad x \in [0; l]. \quad (9)$$

Для розв'язання задачі (10) - (11) застосовано модифікований метод власних функцій [4].

ВИСНОВКИ

Розв'язана загальна крайова задача для рівняння поперечних коливань стрижня за умов шарнірного закріплення його кінців у випадку сталої жорсткості. При розв'язанні задачі використано схему прямого методу, який ґрунтується на концепції квазіпохідних, сучасній теорії систем диференціальних рівнянь та модифікованому методу власних функцій Фур'є.

Такий підхід поширюється на випадки будь-яких інших умов закріплення кінців стрижнів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Tatsii, R.M., Stasyuk, M.F. & Pazen, O.Y. Direct Method of Calculating Nonstationary Temperature Fields in Bodies of Basic Geometric Shapes. *J Eng Phys Thermophy* 94, 298–310 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10891-021-02302-z>
- [2] Тацій Р.М., Карабин О.О., Чмир О.Ю. Схема дослідження поздовжніх коливань стрижня з чотирьох кусків кусково-сталого перерізу (The scheme for investigation for longitudinal oscillations of rod of a piecewise-constant section) // Збірник наукових праць ДОРОГИ І МОСТИ. – 2019. – № 19. – С. 151 – 166. DOI: 10.36100/dorogimosti2019.19.149.
- [3] Тацій Р.М., Карабин О.О., Чмир О.Ю. Загальні крайові задачі для моделювання поздовжніх коливань стрижня // Прикладні питання математичного моделювання. – 2020. – Т. 3. № 1. – С. 194 – 206.
- [4] Tatsij R, Karabyn O., Chmyr O., Malets I., Smotr O. General Scheme of Modeling of Longitudinal Oscillations in Horizontal Rods // International Scientific Conference “Intellectual Systems of Decision Making and Problem of Computational Intelligence”. *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* book series. Vol. 77. P. 789-802. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_54.
- [5] Тацій Р.М. Узагальнені квазідиференціальні рівняння / Р.М. Тацій, М.Ф. Стасюк, В. Мазуренко, О.О. Власій - Дрогобич. Коло, 2011. - 297 с.

Потоковий шифр на основі СІР-квазігруп 4-го порядку

Володимир Лужецький
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
lva.kzi2002@gmail.com

Галина Крайнічук
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
halyna.krainichuk@gmail.com

A stream cipher based on СІР-quasigroups of the 4th order

Volodymyr Luzhetskyi
dept. of information protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
lva.kzi2002@gmail.com

Halyna.Krainichuk
dept. of information protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
halyna.krainichuk@gmail.com

Анотація — Розглядається алгоритм потокового шифрування з використанням операцій, що описуються латинськими квадратами 4-го порядку. Наведено структуру процесора для потокового шифрування та оцінки його апаратної складності.

Abstract — The stream encryption algorithm using operations described by Latin squares of the 4th order is considered. The structure of the processor for stream encryption and the evaluation of its hardware complexity are given.

Ключові слова — шифр; квазігрупа; латинський квадрат; процесор, LW-криптографія.

Keywords — cipher; quasigroup; Latin square; processor, LW-cryptography.

I. ВСТУП

Інтернет речей набуває значного поширення в різних галузях людської діяльності забезпечуючи нові можливості та новий рівень комфорту. Однак такі системи замість користі можуть принести шкоду, якщо вони не будуть належним чином захищені від несанкціонованого втручання. Для запобігання цьому потрібно використовувати стійкі криптографічні алгоритми, що забезпечують захист інформації під час передавання і зберігання, а також захищені протоколи ідентифікації компонентів системи.

Особливість багатьох систем полягає в тому, що вони використовують малоресурсні компоненти. Існує велика кількість методів та апаратних засобів шифрування, створених спеціально для роботи в системах з обмеженими ресурсами. Такі питання вирішуються в рамках малоресурсної (легковагової - LightWeight) криптографії. Основною метою LW-криптографії є створення криптографічних алгоритмів, методів, засобів та протоколів, що мають низьку апаратну складність для їх використання в мініатюрних пристроях, де важливим є розмір кожного елемента.

Основна увага при створенні алгоритмів потокового шифрування LW-криптографії приділяється генеруванню гами, яка накладається на повідомлення шляхом виконання лише однієї операції. Оскільки саме криптографічна стійкість гами визначає криптографічну стійкість потокового шифру. Однак вимогу до гами стосовно високої стійкості можна зменшити, якщо накладання гами на повідомлення здійснювати шляхом виконання в псевдовипадковому порядку певного набору операцій. При цьому криптографічна стійкість потокового шифру не буде зменшуватися. Саме такий підхід до потокового шифрування пропонують автори.

II. АЛГОРИТМ ПОТОКОВОГО ШИФРУВАННЯ

Основна ідея алгоритму потокового шифрування полягає в тому, що на кожному кроці накладання гами на

повідомлення виконується операція, яка вибирається псевдовипадковим чином з певного набору операцій.

Відомо, що кожна бінарна квазігрупова операція має 6 парастрофів головної квазігрупової операції, а саме:

- головна операція;
- ліве ділення;
- праве ділення;
- комутування;
- комутування правого ділення;
- комутування лівого ділення.

Нехай головна операція зображена рівністю $x \cdot y = z$, тоді парастроф лівого ділення квазігрупової операції полягає у перестановці місцями змінних x і z , що зображується рівністю $z \cdot y = x$.

Для побудови алгоритму зашифрування пропонується використовувати парастроф головної операції з набору квазігруп, а для алгоритму розшифрування – відповідний парастроф лівого ділення.

Набір операцій отримано шляхом перетворень над ізотопами групи Кляйна для середніх СІР-квазігруп 4-го порядку з функцією оборотності x^2 [1].

Бінарні операції, що використовуються для зашифрування, описуються такими латинськими квадратами:

L_0	0	1	2	3
0	0	3	1	2
1	2	1	3	0
2	3	0	2	1
3	1	2	0	3

L_1	0	1	2	3
0	1	2	0	3
1	3	0	2	1
2	2	1	3	0
3	0	3	1	2

L_2	0	1	2	3
0	2	1	3	0
1	0	3	1	2
2	1	2	0	3
3	3	0	2	1

L_3	0	1	2	3
0	3	0	2	1
1	1	2	0	3
2	0	3	1	2
3	2	1	3	0

Розшифрування виконується з використанням бінарних операцій, що описуються такими латинськими квадратами:

L^{-1}_0	0	1	2	3
0	0	2	3	1
1	3	1	0	2
2	1	3	2	0
3	2	0	1	3

L^{-1}_1	0	1	2	3
0	1	3	2	0
1	2	0	1	3
2	0	2	3	1
3	3	1	0	2

L^{-1}_2	0	1	2	3
0	2	0	1	3
1	1	3	2	0
2	3	1	0	2
3	0	2	3	1

L^{-1}_3	0	1	2	3
0	3	1	0	2
1	0	2	3	1
2	2	0	1	3
3	1	3	2	0

Для бінарної операції $x \cdot y = z$ змінні і результат подаються як дворозрядний двійковий код, тобто $x = x_1x_2$,

$y = y_1y_2$ і $z = z_1z_2$. З урахуванням цього маємо такі логічні функції, що описують бінарні операції:

$$L_0(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = y_2 \overline{(x_1 \oplus x_2)} + \overline{y_2} (x_1 \oplus x_2);$$

$$L_0(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = y_2 \overline{(x_1 \oplus y_2)} + \overline{y_2} (x_1 \oplus y_2);$$

$$L_1(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = y_2 \overline{(x_1 \oplus x_2)} + \overline{y_2} (x_1 \oplus x_2);$$

$$L_1(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = y_2 \overline{(x_1 \oplus y_1)} + \overline{y_2} (x_1 \oplus y_1);$$

$$L_2(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = x_2 \overline{(x_1 \oplus y_2)} + \overline{x_2} (x_1 \oplus y_2);$$

$$L_2(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = y_2 \overline{(x_1 \oplus y_1)} + \overline{y_2} (x_1 \oplus y_1);$$

$$L_3(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = x_2 \overline{(x_1 \oplus y_2)} + \overline{x_2} (x_1 \oplus y_2);$$

$$L_3(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = y_2 \overline{(x_1 \oplus y_1)} + \overline{y_2} (x_1 \oplus y_1);$$

$$L^{-1}_0(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = x_2 \overline{(y_1 \oplus y_2)} + \overline{x_2} (y_1 \oplus y_2);$$

$$L^{-1}_0(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = x_2 \overline{(x_1 \oplus y_1)} + \overline{x_2} (x_1 \oplus y_1);$$

$$L^{-1}_1(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = x_2 \overline{(y_1 \oplus y_2)} + \overline{x_2} (y_1 \oplus y_2);$$

$$L^{-1}_1(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = x_1 \overline{(x_2 \oplus y_1)} + \overline{x_1} (x_2 \oplus y_1);$$

$$L^{-1}_2(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = x_2 \overline{(y_1 \oplus y_2)} + \overline{x_2} (y_1 \oplus y_2);$$

$$L^{-1}_2(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = x_1 \overline{(x_2 \oplus y_1)} + \overline{x_1} (x_2 \oplus y_1);$$

$$L^{-1}_3(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_1 = x_2 \overline{(y_1 \oplus y_2)} + \overline{x_2} (y_1 \oplus y_2);$$

$$L^{-1}_3(x_1, x_2, y_1, y_2) = z_2 = x_1 \overline{(x_2 \oplus y_1)} + \overline{x_1} (x_2 \oplus y_1).$$

Відкрите повідомлення M подається як послідовність двобітних елементів $M = (m_1, m_2, m_3, \dots, m_n)$, $m_i \in \{0,1,2,3\}$.

Секретний ключ K має дві 32-розрядні складові: $K = \{K_1, K_2\}$. Перша складова K_1 подається як послідовність двобітних елементів $K_1 = (k_1, k_2, k_3, \dots, k_{16})$, $k_i \in \{0,1,2,3\}$ і використовується як початок гамми.

Гама $G = (g_1, g_2, g_3, \dots, g_n)$ формується за таким правилом:

$$g_i = \begin{cases} k_i, & \text{для } 1 \leq i \leq 16; \\ m_{i-16}, & \text{для } 16 < i \leq n. \end{cases}$$

Друга складова K_2 є початковим станом регістра зсуву з лінійним зворотним зв'язком, який побудований з використанням твірного поліному $x^{32} + x^7 + x^6 + x^2 + 1$. Цей регістр забезпечує генерування послідовності псевдовипадкових чисел $J = \{j_1, j_2, j_3, \dots, j_n\}$, $j_i \in \{0,1,2,3\}$, кожне з яких є номером використовуваного латинського квадрата.

Зашифроване повідомлення подається як послідовність двобітних елементів $C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_n)$, $c_i \in \{0,1,2,3\}$.

Алгоритм зашифрування.

1. Сформувати елемент гамми g_i .
2. Сформувати псевдовипадкове число j_i .
3. Обчислити елемент зашифрованого повідомлення c_i як результат бінарної операції L_{j_i} :

$$c_i = L_{j_i}(m_i, g_i).$$

Такі дії виконуються для i від 1 до n .

Алгоритм розшифрування.

1. Сформувати елементами g_i .
2. Сформувати псевдовипадкове число j_i .
3. Обчислити елемент відкритого повідомлення m_i як результат бінарної операції $L_{j_i}^{-1}$:

$$m_i = L_{j_i}^{-1}(c_i, g_i).$$

Такі дії виконуються для i від 1 до n .

Криптостійкість запропонованого алгоритму потокового шифрування визначається криптостійкістю елементами (секретний ключ K_1 і невідомі для зломисника елементи відкритого повідомлення) та невизначеністю послідовності виконуваних операцій (послідовність псевдовипадкових чисел, що формується на основі секретного ключа K_2).

III. АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ ПОТОКОВОГО ШИФРУВАННЯ

Структурну схему процесора для потокового шифрування наведено на рис.1. До її складу входять такі структурні елементи.

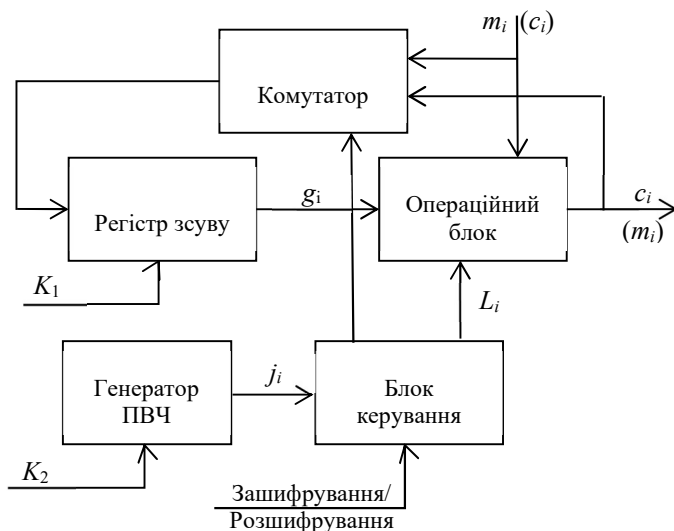


Рис. 1. Структурна схема процесора для потокового шифрування

Регістр зсуву забезпечує формування елементами g_i . Спочатку в нього записується код секретного ключа K_1 , а далі на кожному кроці записується черговий елемент відкритого повідомлення m_i .

Генератор псевдовипадкових чисел (ПВЧ) реалізований як регістр зсуву з лінійним зворотним зв'язком. Псевдовипадкові числа представлені двома двійковими розрядами.

Операційний блок реалізує описані вище латинські квадрати.

Блок керування забезпечує вибір реалізації латинського квадрату залежно від режиму «Зашифрування/Розшифрування» і значення j_i .

Комутатор забезпечує запис у регістр зсуву елемента відкритого повідомлення m_i або з входу процесора в режимі «Зашифрування», або з виходу операційного блоку в режимі «Розшифрування».

Апаратну складність окремих структурних елементів процесора для потокового шифрування наведено в табл.1.

ТАБЛИЦЯ 1. АПАРАТНА СКЛАДНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЦЕСОРА

Структурний елемент	Складність (GE)
Генератор ПВЧ	178,57
Регістр зсуву	170,56
Блок керування	23,29
Комутатор	5,99
Операційний блок	103,98

Складність визначено на основі бібліотеки UMCL18G212T3 library [2], що містить базові компоненти технології 0.18 μm виготовлення мікросхем та описує їх складність в умовних одиниць GE (Gate Equivalent).

З табл.1 випливає, що апаратна складність розробленого процесора складає 482,39 GE або з округленням – 483 GE.

Для порівняння в табл. 2 наведено оцінки складності апаратної реалізації відомих [3] і запропонованого (авторського) алгоритмів потокового шифрування.

ТАБЛИЦЯ 2. ОЦІНКИ АПАРАТНОЇ СКЛАДНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ

Назва алгоритму	Розрядність ключа	Складність(GE)
Grain	80/128	1294/1857
Fruit-80	80	960
Plantlet	80	928
LILLE	80	911
Edon-80	80/128	600/1110
Авторський	64	483

Порівняльний аналіз наведених оцінок складності показує, що запропонований алгоритм потокового шифрування на основі СІР-квазігруп 4-го порядку є достатньо простим в реалізації і задовольняє вимогам LW-криптографії (апаратна складність реалізації від 100 до 2000 GE).

Складність реалізації авторського алгоритму потокового шифрування від 1,8 до 3,5 разів менше порівняно зі складністю реалізації відомих алгоритмів потокового шифрування LW-криптографії.

Таким чином показано, що використання СІР-квазігруп 4-го порядку є перспективним підходом до побудови поточкових шифрів, який потребує подальших досліджень у напрямку мінімізації апаратної складності та аналізу криптографічної стійкості.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Крайнічук Г.В., Пилявець І.Ю., Радченко Є.В. СІР-квазігрупи 4-го порядку з оборотним елементом x^2 серед ізотопів групи Клейна // Збірник наук. праць Міжн. наук. конф. «Сучасні проблеми мех. та мат. – 2023», ІПММ ім. Я.С.Підстригача. Львів, 2023. – С. 285-286.
- [2] UMCL18G212T3. Virtual Silicon standard cell library based on the UMC L180 0.18 μm 1P6M Logic process. Вид. офіц. 2004. 1 с.
- [3] The eSTREAM portfolio page. ECRYPT. URL: <https://www.ecrypt.eu.org/stream/e2-grain.html> (accessed: 09.06.2023).

Розроблення інверторного силового блоку станції катодного захисту трубопроводу

Іван Левицький

кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
letis@ukr.net

Дмитро Каблак

кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
itts@nung.edu.u

Олена Заміховська

кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
elenazam@meta.ua

Development of the inverter power unit of the pipeline cathodic protection station

Ivan Levitskyi

Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
letis@ukr.net

Mykola Kablak

Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
itts@nung.edu.ua

Olena Zamikhovska

Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
elenazam@meta.ua

Анотація – В роботі подано процес і результати розроблення інверторного силового блоку станції катодного захисту трубопроводу. Реалізовано даний інверторний силовий блок на базі контролера моделі SG3525 і силовій частини по топології push-pull. Для розширення функціональних можливостей силового блоку передбачено мікропроцесорне управління, яке реалізує регулювання вихідного параметру по напрузі, по струму і по величині контрольного потенціалу. Виконано успішне тестування силового блоку в лабораторних умовах максимально наближених до умов експлуатації.

Abstract – The paper presents the process and results of the development of the inverter power unit of the pipeline cathodic protection station. This inverter power unit is implemented on the basis of the SG3525 controller and the push-pull topology power unit. To expand the functionality of the power unit, a microprocessor control is provided, which implements the regulation of the output parameter by voltage, current, and the value of the control potential. The power unit was successfully tested in laboratory conditions as close as possible to operating conditions.

Ключові слова: електрохімізахист; станція катодного захисту; інвертор; мікроконтролер; снабер; топологія push-pull; широтно-імпульсна модуляція

Keywords: electrochemical protection; cathodic protection station; inverter; microcontroller; snaber; push-pull topology; pulse width modulation

I. ВСТУП

Трубопровідний транспорт широко використовується для транспортування рідких і газоподібних речовин на значні відстані, що значно здешевлює їх вартість у точці кінцевого споживання. Проте внаслідок тривалої експлуатації і негативних природних факторів, зростає аварійність трубопроводів. Зокрема, внаслідок корозійних процесів зменшується товщина металу трубопроводу що викликає необхідність зменшення робочого тиску і, як наслідок, пропускну здатності трубопроводу. В окремих випадках корозія призводить до аварійних ситуацій з розгерметизацією трубопроводу. Електрохімізахист покликаний зменшити корозійні процеси до мінімуму, а тому розробка надійних станцій катодного захисту (СКЗ) є актуальною задачею [1-3].

II. АНАЛІЗ СИЛОВИХ БЛОКІВ СКЗ

Основу більшості СКЗ становить блок управління і силовий блок. На даний момент більшість СКЗ є трансформаторними, які володіють великим переліком негативних показників. Перш за все трансформаторні СКЗ володіють низьким коефіцієнтом корисної дії, який становить в середньому 70-75%, що є недопустимим для енергозбереження. При цьому інверторна СКЗ володіє ККД у діапазоні 85-95%. І справа не лише у цих конкретних значеннях. Проблема трансформаторних станцій у тому, що із зменшенням вихідної потужності їх ККД різко падає, до 20-30 %. Це пов'язано насамперед з тим, що втрати на перемагнічування магнітопроводу трансформатора не залежать від вихідної потужності. Тому при меншій потужності вони стають більш вагомими. Вихідна потужність пристроїв катодного захисту залежить від опору навантаження, тобто стану анодного заземлення. При хорошому стані заземлення (низький опір) потрібна менша напруга, а значить і менша потужність, щоб забезпечити заданий струм. Згодом анодні електроди заростають, опір збільшується і пристрій має підвищувати вихідну потужність. Але більшість часу станції катодного захисту працюють на заниженій потужності. І саме у цьому режимі трансформаторні пристрої мають низький ККД.

Високий коефіцієнт пульсацій вихідної потужності СКЗ негативно впливає на якість антикорозійного захисту, а у трансформаторних СКЗ даний коефіцієнт досягає 10%, натомість у інверторних - 2-5%. Окрім цього, для досягнення задовільного коефіцієнту пульсацій у трансформаторних СКЗ застосовують масивний дросель, що збільшує металоємність трансформаторної СКЗ.

Висока металоємність трансформаторних СКЗ, а саме наявність значної кількості кольорових металів, робить її бажаною і привабливою для вандалів і шукачів кольорового металу. В результаті їх «діяльності» цілі ділянки трубопроводу залишається без катодного захисту на тривалий період часу, що є неприпустимим для його

надійної експлуатації. Інверторна СКЗ містить значно менше кольорового металу, що створює менше проблем охоронним організаціям, що відповідають за дану ділянку трубопроводу.

Щодо функціональності, то трансформаторні підстанції переважно працюють у ручному режимі, який не передбачає регулювання і підтримки на встановленому значенні вихідної напруги чи струму, що в результаті зменшує їх ефективність і збільшує енергозатрати. Окрім цього відсутність широкого спектру захисту трансформаторних СКЗ зменшує їхню надійність. Відсутність можливості телеметрії у трансформаторних СКЗ не дозволяє контролювати поточний стан СКЗ і виявляти аварійні ситуації. Низька функціональність трансформаторних СКЗ перш за все пов'язана із відсутністю у більшості з них мікропроцесорного блоку управління, а регулювання вихідної напруги здійснюється шляхом фазового регулювання у діодному мості СКЗ.

Аналіз сучасних інверторних СКЗ виявив ряд недоліків у режимах функціонування СКЗ, зокрема більшість з них не мають можливості виявлення обриву лінії катодного захисту, не володіють можливістю роботи СКЗ у режимі переривання для вимірювання параметрів стану трубопроводу [4].

III. РОЗРОБЛЕННЯ ІНВЕРТОРНОГО СИЛОВОГО БЛОКУ СКЗ

Аналіз вище наведених недоліків і переваг обґрунтував вимоги до інверторної СКЗ і до її функціональних можливостей [5,6]. Було запропоновано функціональну схему інверторної СКЗ, рис.1.

Основу схеми складають два основні вузли – блок управління і силовий блок. Блок управління здійснює управління силовим блоком шляхом формування ШІМ сигналу для встановлення струму і напруги виходу інвертора. Формування завдання з допомогою ШІМ дозволяє уникнути впливу завад і розділити силовий блок і блок управління, а також запобігти нештатним ситуаціям при нештатній втраті зв'язку між ними.

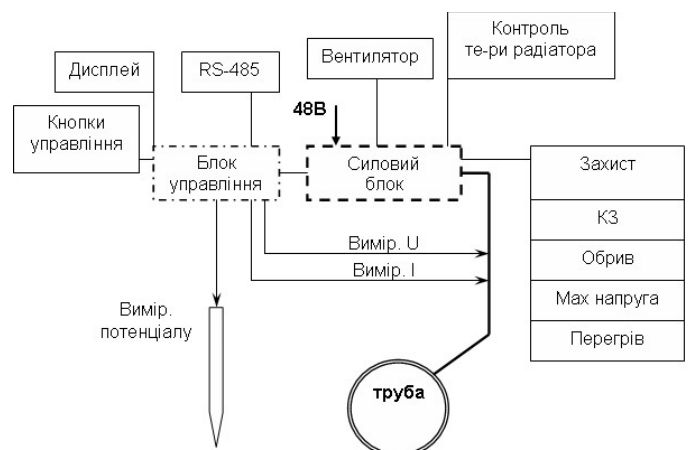


Рис. 1. Функціональна схема інверторної СКЗ

До блоку управління підключається дисплей для відображення поточних даних, а саме поточна напруга, струм, потенціал, режим роботи. Кнопки управління дозволяють керувати режимом роботи силового блоку. Алгоритм функціонування даних вузлів забезпечує

мікроконтролер [7]. Блок управління також здійснює вимірювання поточних вихідних значень напруги і струму катодного захисту і потенціалу контрольного електроду. Для зв'язку із системами телеметрії з метою віддаленої передачі поточних даних і отримання сигналів управління використовується протокол RS-485, як найбільш оптимальний для необхідної швидкості передачі даних і достатньої завадостійкості.

Силовий блок здійснює формування вихідної напруги і струму катодного захисту відносно заданих параметрів. При цьому живленням є вхідна напруга 48В. Сам силовий блок здійснює управління вентилятором охолодження радіатора силових ключів відносно його поточної температури. Окрім цього, здійснюється захист силових ключів і схеми в цілому від короткого замикання, обриву вихідної лінії, максимальної напруги на виході, перегріву радіатора. Для управління силовими ключами використовується драйвер силових ключів.

Для схеми силового блоку було обрано push-pull – топологію. Такі двотактні схеми силових блоків мають менші габарити порівняно з одноктактними, менші габарити вихідного фільтра, більшу потужність. Однак вони в базовій схемі містять більшу кількість елементів. Свою назву топологія отримала від поєднання слів «push» (штовхати) та «pull» (тягнути). Тобто «тягни-штовхай», що відображає концепцію роботи схеми – одна обмотка тягне, а інша штовхає. При роботі силового блоку енергія передається на навантаження протягом обох півперіодів роботи. Перетворювач push-pull використовується при низькій вхідній напрузі живлення (до 30-50 В) і вихідній потужності 50-2000 Вт. Спрощена електрична схема силового блоку за схемою push-pull представлена на рис. 2.

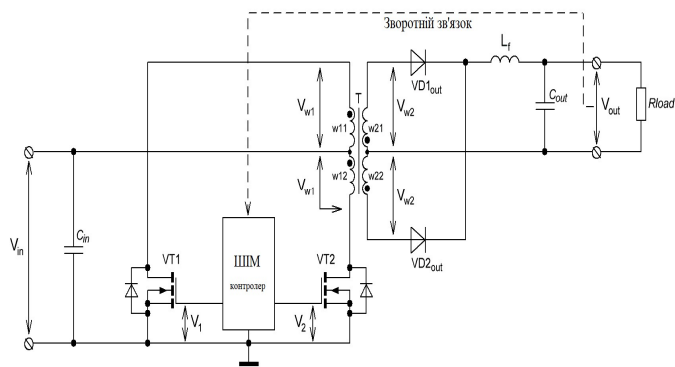


Рис. 2. Спрощена електрична схема силового блоку

Схема містить два ключові транзистори, по чергово комутованих ШІМ-контролером. Первинна обмотка імпульсного трансформатора містить дві півобмотки з однаковим числом витків. Середня точка обмотки підключена до джерела живлення, а протифазні виходи обмоток з'єднані з ключовими транзисторами. Обидва ключові транзистори з'єднані із загальною «земляною» шиною живлення, управління транзисторами здійснюється відносно рівня «землі». У процесі роботи до півобмоток прикладаються імпульси напруги з амплітудою, що дорівнює напрузі джерела живлення. За рахунок протифазного ввімкнення півобмоток здійснюється

симетричне перемагнічування магнітопроводу трансформатора.

В результаті обраних параметрів було розроблено принципову електричну схему модуля силового інвертора push-pull типу на основі контролера SG3525. Для мінімізації втрат було використано польові транзистори з дуже низьким опором відкритого каналу IRFP4227 від виробника IAR (240V 130A 21 mΩ) [8]. Але чим потужніші ключі, тим складніше ними керувати. Велика затримка і тривалий час перемикання створюють певні труднощі при зборці потужного силового блоку. Для керування транзисторами використовується та ж мікросхема SG3525 з гальванічною розв'язкою. Згідно документації транзистора для повного його відкриття при 25°C необхідно подати 5 В на затвор, та приблизно 6 В при 150°C. Тому немає жодного сенсу заряджати затвор напругою 12 В, якщо це не має ніякого значення. Зі збільшенням напруги на затворі його заряд значно зростає, що призводить до збільшення споживання від ШІМ-контролера. Як висновок, керування важкими польовими транзисторами набагато простіше здійснювати зниженою напругою. Для обраних польових транзисторів оптимальна напруга на затворі становитиме 6 В. В якості трансформатора гальванічної розв'язки застосовано феритове кільце R16 з матеріалу PC40. Щоб ШІМ-контролер споживав менше енергії на перемагнічування сердечника, було встановлено 60 витків первинної обмотки. Кількість витків вторинних обмоток - для 6 В буде достатньо намотати по 30 витків. ($12 \text{ В}/6030 = 6 \text{ В}$).

В якості силового трансформатора було обрано кільце феритове R40/20/30 з матеріалу PC4A. Розрахунок кількості витків відносно діаметру проводу, який обрано літцендрат (містить 250 провідників 0.1мм). Первинна обмотка складається із двох обмоток по 5 витків. При цьому густина струму в провіднику становить $9.8 \text{ А}/\text{мм}^2$, що є достатнім для забезпечення задовільного температурного режиму трансформатора. Вторинна обмотка складається із двох обмоток по 6 витків. Температура трансформатора при максимальній потужності в 48В і 25А становить 93°C, що є не критичною. Розрахункова потужність втрат у трансформаторі становить 10Вт, а коефіцієнт корисної дії становить 95%.

Схема містить апаратний і програмний софтстарт. Драйвер містить апаратний софтстарт. Він здійснюється за допомогою ШІМ-контролера. При запуску на польові транзистори подаються вузькі імпульси, які не повністю їх відкривають, і пусковий струм не перевищує обмеження у наростанні 1 Ампер/сек навіть зі значними ємностями на виході.

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

В результаті для реалізації принципової електричної схеми було розроблено і виготовлено друковану плату в середовищі P-CAD, рис.3. Плата виконана з дотриманням вимог електромагнітної сумісності і оптимального розподілу струму по ширині провідників.

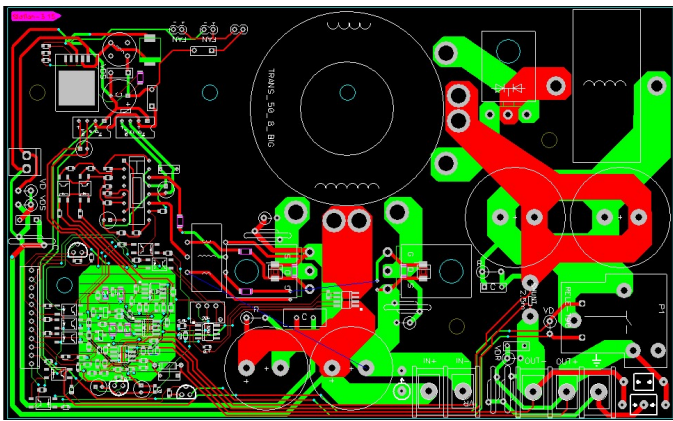


Рис.3. Друкована плата

Було сконструйовано силовий блок на основі попередньо розробленої принципової схеми і друкованої плати, рис. 4.

Дослідження силового блоку показали, що при збільшенні скважності силового сигналу, рівень імпульсних перенапруг зростає. При використанні діодів Шотки при максимальній скважності відбувся електричний пробій діодів Шотки, що в результаті призводило до різкого зростання зворотної ЕРС на первинних обмотках трансформатора та виходу з ладу силових MOSFEET-транзисторів. Було вирішено використати діоди із збільшеною зворотною напругою для запобігання даного ефекту. Слід зауважити, що рівень імпульсних перенапруг та форма імпульсу на колекторі MOSFEET-транзистора залежить від використання снаберної (захисної) ланки.

На рис. 6 зображено осцилограми напруг на виході транзистора при використанні снаберної ланки з великою ємністю 10 нФ. На них видно, що імпульсні перенапруги при закритті MOSFEET-транзистора не є великими, проте відбувається затримка фронту імпульсу та присутні коливання при відкритті протилежного MOSFEET-транзистора.



Рис.4. Силовий блок СКЗ на базі драйвера SG3525

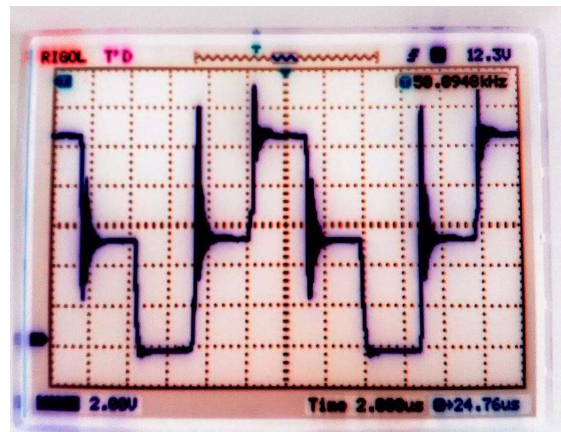


Рис.5. Осцилограма сигналу на виході транзистора

Результати навантажувальних дій показали високі забезпечили вихідну потужність у 901Вт (рис.6) при опорі навантаження 1.39Ом. Даний опір навантаження є типовим при нормальній роботі катодного захисту трубопроводу.



Рис.6. Індикатор вихідної потужності

При вхідній потужності 980Вт, ККД силового блоку склав 92%, що в лабораторних умовах є високим показником.

В результаті було розроблено інверторний силовий блок, який вирізняється перед трансформаторним високим коефіцієнтом корисної дії, високою точністю регулювання, високою функціональністю, можливістю управління по кільком зовнішнім параметрам, меншими габаритами і економічністю, широкими можливостями телеметрії.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] ДБН.В.2.5-20-2001 Газопостачання. 2001. –К.: Держбуд України, 2001, - 286 с.
- [2] Кязімов К.Г. Експлуатація і ремонт підземних газопроводів. - К.: Наука, 1987, - 337 с.
- [3] Подгорний А.А. Захист підземних трубопроводів від корозії: - К, Будівельник, 1988, - 86 с.
- [4] Retractable Linear Polarization Resistance (LPR) Probe [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.caproco.com/catalog/pdf/Probes-Instruments/Retractable-LPR-2-or-3-Element.pdf>. (дата звернення: 23.06.2023)
- [5] Антропов Л. І. Теоретична електрохімія: підруч. для студ. вищ. навч.закл. / Л. І. Антропов – К.: Либідь, 1993.–544 с.
- [6] Чвірук В. П. Електрохімічний моніторинг техногенних середовищ / В. П. Чвірук, С. Г. Поляков, Ю. С. Герасименко. – К. : Академперіодика, 2007. 324 с.
- [7] 8-bit Microcontroller with 64K Bytes Programmable Flash. ATmega64 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу URL:<http://www.atmel.com/>. (дата звернення: 23.06.2023)
- [8] IRFP4227 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу URL:<http://www.iar.com/> (дата звернення: 20.06.2023)

Дослідження діагностичних ознак вібраційного стану газперекачувального агрегату

Олена Заміховська
кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
elenazam@meta.ua

Наталія Іванюк
кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
ivanuknata@ukr.net

Владислав Бойко
кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м. Івано-Франківськ, Україна
boykovv2004@gmail.com

Леонід Заміховський
кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м. Івано-Франківськ, Україна
leonid.zamikhovskyi@nung.edu.ua

Research of diagnostic signs of the vibration state of the gas pumping unit

Olena Zamikhovska
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
elenazam@meta.ua.

Nataliya Ivanyuk
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
ivanuknata@ukr.net

Vladyslav Boyko
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
boykovv2004@gmail.com

Leonid Zamikhovskyi
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
leonid.zamikhovskyi@nung.edu.ua

Анотація—В роботі подано результати дослідження вібраційного стану газперекачувального агрегату (ГПА) типу ГПА-Ц-16С. Наводиться методика проведення експериментальних досліджень та результати обробки отриманих даних. Аналізуються спектрограми агрегатних вузлів ГПА з метою виявлення діагностичних ознак їх технічного стану. Наводяться рекомендації щодо вибору частот обертання агрегатних вузлів ГПА та ділянок частотного спектру з гармонічними і субгармонічними складовими роторних та лопатевих частот, які можна вибрати за діагностичні ознаки.

Abstract— The paper presents the results of a study on the vibration state of a gas pumping unit (GPU) of the GPU-C-16S

type. The methodology of experimental research and the results of data processing are provided. Spectrograms of the unit's components are analyzed to identify diagnostic indicators of their technical condition. Recommendations are given for selecting the rotational frequencies of the unit's components and frequency ranges with harmonic and subharmonic components of rotor and blade frequencies, which can be chosen based on diagnostic indicators.

Ключові слова: вібраційний стан, газоперекачувальний агрегат, діагностична ознака, технічний стан, спектрограма

Keywords— Vibration state, Gas pumping unit, Diagnostic indicator, Technical condition, Spectrogram

ВСТУП

Сучасні тенденції розробки систем автоматичного управління (САУ) газоперекачувальними агрегатами (ГПА) вимагають врахування їх технічного стану при виборі режимів управління ГПА. Вказане можливо реалізувати на базі сучасних методів і апаратно-програмних засобів, які можуть бути інтегровані в САУ ГПА. Одним із перспективних методів діагностування стану ГПА є віброакустичні методи [1,2], що обумовлюється високою інформативністю віброакустичних процесів, які супроводжують роботу ГПА, їх органічним зв'язком з динамічними процесами збудження і розповсюдження коливань в механізмах і вузлах ГПА, а також можливістю автоматизації процесів збору і обробки діагностичної інформації з використанням сучасних засобів мікропроцесорної техніки та новітніх пакетів прикладних програмних продуктів.

Розробка таких методів вимагає проведення експериментальних досліджень вібраційного стану ГПА при різних режимах і технічних станах ГПА в процесі експлуатації з подальшою обробкою віброакустичних сигналів з використанням швидкого перетворення Фур'є, автокореляційної функції, різних вейвлет-перетворень і ін., а обробка отриманих даних проводиться з використанням методів кореляційного, дискримінантного аналізу, штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів та ін. методів.

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІБРАЦІЙНОГО СТАНУ ГПА

Методика проведення експериментальних досліджень на прикладі ГПА-Ц-16С передбачала запуск на режим «Кільце» з подальшим вимірюванням параметрів вібрації при обертах силової турбіни нагнітача $n_{\text{тн}} = 3500$ об/хв.; повторне вимірювання, після прогріву ГТД та контролю положення (кута повороту) лопатей відцентрового напрямного апарату (ВНА), параметрів вібрації при обертах силової турбіни нагнітача $n_{\text{тн}} = 3700$ об/хв.; зміну обертів силової турбіни нагнітача в діапазоні від $n_{\text{тн}} = 3700$ об/хв. до $n_{\text{тн}} = 5200$ об/хв. з постійним вимірюванням параметрів вібрації та контролем положення лопатей ВНА.

Зміна поточних значень технологічних параметрів при зміні режиму роботи ГПА згідно з програмою експериментів контролювалася по монітору САУ ГПА. Час запису параметрів вібрації (миттєві значення) на одному із заданих режимів роботи ГПА вказувався візирною лінією, встановленою курсором у вікні поточних значень технологічних параметрів ГПА.

Вимірювання параметрів вібрації ГПА проводилось з використанням інформаційно-вимірювальної системи на базі PLC Simatic S7-1200 і вібраційного модуля SM1281 [3]. Основу системи складає вібраційний модуль SM1281 з комплектом акселерометрів (промисловий стандарт для акселерометрів ІЕРЕ – Integrated Electronics Piezo-Electric), який є новітньою розробкою концерну Siemens і може використовуватися в якості системи автономного моніторингу при експериментальних дослідженнях вібраційного стану ГПА. Середовище проектування ПІА Portal V13SP1 забезпечує функції апаратної конфігурації,

параметрування сигнальних модулів і налагодження інтерфейсів зв'язку.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

З використанням інформаційно-вимірювальної системи при проведенні експериментів були отримані віброграми, які підлягали подальшій обробці для побудови частотного спектру. Проводили запис вібрації в трьох площинах – повздовжній (x), вертикальній (y) та поперечній (z) до осі валів агрегатних вузлів ГПА-Ц-16С.

Для оцінки динамічних властивостей спектру будували частотно-часове представлення вібраційних сигналів для кожного з вузлів ГПА, отриманих під час експериментів за допомогою короточасового перетворення Фур'є (STFT) з довжиною вікна 2048 відліків та функцією вікна Блекмена-Харріса, для чого використовували програму AdobeAudition [4].

Для визначення групи власних частот будували спектри вібраційних сигналів, записаних на кожній з частот обертання трьох валів, згідно програми експериментів при усталеному режимі (3-5 хвилин).

Для побудови спектру було використано метод Уелча, що передбачає усереднення спектрів для послідовних інтервалів часу, які перекриваються, із зважуванням на кожному інтервалі за допомогою функції вікна (довжину вікна прийнято 65536, коефіцієнт перекриття 0.95). За рахунок інтегрування спектру в часі, що зважується у методі Уелча, рівень складових, які мають постійну частоту на протязі інтервалу інтегрування, підсилюється, а рівень складових, частота яких змінюється в часі, зменшується.

Для прикладу на рис. 1 наведені віброграми і спектрограми по ВНА при частоті його обертання $n=6765$ об/хв.

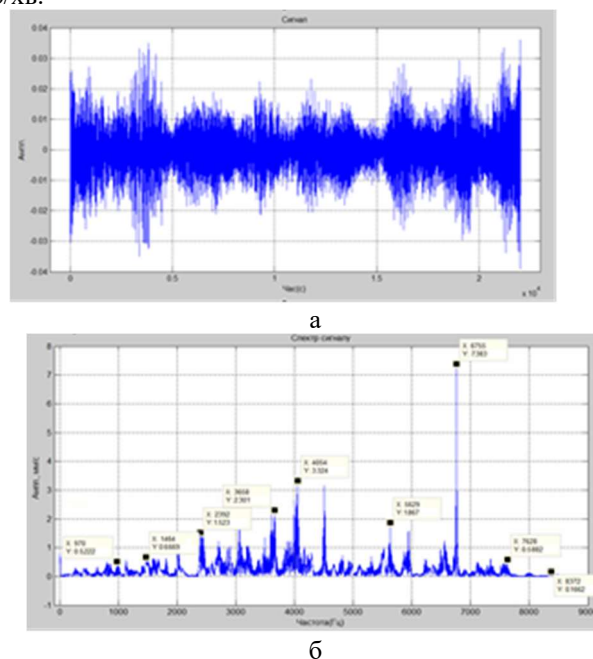


Рис. 1. Віброграма - а; спектрограма – б, зняті в площині x.

Для більш детального аналізу зміни потужності (амплітуди) гармонічних, субгармонічних та спектральних складових спектру вібрації стосовно вибору діагностичних ознак стану лопатевого апарату ВНА була проведена його фільтрація (рис. 2). З рис. 2 видно, що на спектрі можна виділити значно більше його амплітудних складових, які можуть характеризувати зміну технічного стану лопатевого апарату ВНА.

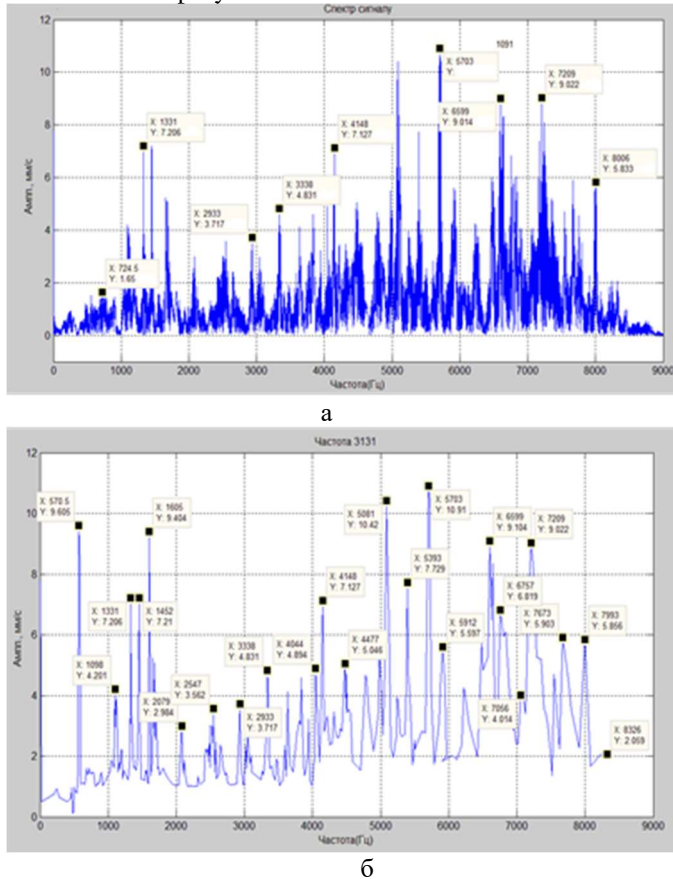


Рис. 2. Спектрограми ВНА при $n=3131$ об/хв. отримані: а – до фільтрації, б – після фільтрації.

Аналогічні частотні спектри були отримані для всіх вузлів ГПА-Ц-16С.

Аналіз отриманих результатів показав, що найбільш інформативною площиною вимірювання вібрації є площина Y – вимірювання вібрації у вертикальній площині до осі ротора компресора низького тиску (КНТ).

В результаті проведеного аналізу спектрів вібрації було встановлено, що дійсні частоти обертання ротора КНТ, ТНТ, і ротора компресора високого тиску (КВТ), турбіни високого тиску (ТВТ) та ротора турбіни нагнітача (ТН) різняться від номінальної (розрахованої) на величину порядку 20...70 об/хв., що спричиняє відхилення лопатевих частот та їх гармонік від розрахованих значень.

Вказане вимагає при визначенні рівнів амплітуди вібрації на характерних частотах врахування частот обертання на момент вимірювання. З врахуванням цього, для подальшого аналізу з кожного із сигналів вібрації було виділено від 3 до 5 фрагментів (в залежності від довжини записаного сигналу) тривалістю по 10с із відносно стабільною частотою обертання та без короткочасних порушень стаціонарного характеру спектру. Значення рівнів амплітуди на характерних частотах визначались як середнє арифметичне значення для вибраної кількості фрагментів сигналу виходячи з результатів проведених досліджень залежності амплітуди гармонік від частоти для кожного часу запису віброграми.

ВИСНОВКИ

Проведений детальний аналіз спектрів з врахуванням кінематики ГПА показав, що для подальших досліджень доцільно вибирати частоти обертання ротора КНТ і ТНТ, ротора КВТ і ТВТ, а також ротора ТН та перші п'ять її гармонік, а також лопатеві частоти і перші три їх гармоніки.

Крім того, як було відмічено вище, потрібно також аналізувати ділянки частотного спектра, що характеризуються значними амплітудними складовими, зміна яких в часі може характеризувати зміну технічного стану лопатевого апарату ГПА і бути обрані за діагностичні ознаки.

Виділені ділянки спектру з гармонічними і субгармонічними складовими роторних та лопатевих частот агрегатів ГПА потрібно архівувати через визначені періоди часу та порівнювати їх з занесеними початковими їх результатами, які відповідають номінальним станам агрегатів ГПА.

Набір статистичних даних разом з результатами дефектації конкретного вузла, чи ГПА в цілому дозволить звузити аналіз ділянок частотного спектру з метою діагностування стану ГПА.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Zamikhovsky, L., Zamikhovska, O., Ivanyuk, N. (2021). Trends in the development of methods for diagnostics of the technical state of the blades of gas-pumping units, ScienceRise. - 1(72). – P. 33-40. DOI:10.21303/2313-8416.2021.001678
- [2] Бурау Н.І. Віброакустична діагностика тріщиноподібних пошкоджень турболопаточних машин на стаціонарних та нестаціонарних режимах [Текст]: дис. докт. техн. наук : 05.11.13 /Бурау Надія Іванівна. – Київ, 2005. - 397с.
- [3] Заміховський Л. М., Іванюк Н.І. Параметрування програмних блоків модуля SM1281 для побудови системи діагностування ГПА. Summer InfoCom 2017: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. (Київ, 1-2 черв. 2017). К.: Вид-во ТОВ «Інжиніринг», 2017. С. 30-31.
- [4] Заміховський Л.М., Іванюк Н.І. Використання програмного середовища TIA PORTAL для обробки вібродіагностичної інформації на базі модуля SM 1281 SIEMENS. Вимірюв., контроль та діагност. в техн. системах: IV Міжнар. наук. конф.(Вінниця, 31 жовт. – 02 лист. 2017). С.264-265.

Метод опрацювання моночастотного корисного сигналу в інформаційних системах для зменшення впливу завад

Юрій Стрілецький

кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
nonemtal@ukr.net

Назарій Яремко

кафедра Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
itts@nung.edu.ua

Method of processing a monochromatic useful signal in information systems to reduce the impact of interference

Yurii Striletskyi

Department of Information and Telecommunication Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
nonemtal@ukr.net

Nazarii Yaremko

Department of Information and Telecommunication Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
itts@nung.edu.ua

Анотація— В роботі запропоновано підхід до створення методу опрацювання сигналів для виділення корисного одночастотного сигналу з сукупного сигналу, який окрім корисного містить ще й сигнал завади. Корисний одночастотний сигнал модулюється за допомогою двійкової фазової маніпуляції псевдовипадковим двійковим кодом, що призводить до розширення енергетичного спектру корисного сигналу. Пікся взаємодії із зашумленим середовищем сукупний сигнал демодулюється, що призводить до зосередження енергії корисного сигналу на одній частоті, натомість енергія завади розширюється в широкій смузі частот і відділяється фільтром. Розроблено структурну схему системи для проведення вказаних перетворень сигналу.

Abstract— In The paper proposes an approach to the development of a signal processing method for extracting a useful single-frequency signal from a composite signal that includes both the useful signal and interference. The useful single-frequency signal is modulated using binary phase manipulation with a pseudorandom binary code, resulting in the expansion of the useful signal's energy spectrum. After interaction with a noisy environment, the composite signal is demodulated, concentrating the energy of the useful signal at a single frequency, while the interference energy is spread over a wide frequency range and

separated by a filter. A structural diagram of the system for performing the mentioned signal transformations has been developed.

Ключові слова: спектр частот, розширення енергетичного спектру, псевдовипадковий код, двійкова маніпуляція сигналу, когерентна завада, широкопasmовога завада

Keywords— frequency spectrum, spreading of spectr, pseudorandom code, binary signal manipulation, coherent interference, broadband interference

I. ВСТУП

Вимірювання затухання сигналу в середовищі на певні частоті має декілька застосувань. Затухання сигналу є результатом втрати енергії під час передачі через середовище. Вимірювання затухання допомагає встановити, наскільки сильно змінюється сигнал під час його переміщення від передавача до приймача. Це важливо для оцінки ефективності телекомунікаційних систем, мереж передачі даних, радіосполучення, оптичних мереж і т.д. Відомості про затухання сигналу на певній частоті дозволяє визначити оптимальне розташування передавачів і

приймачів у бездротових мережах, оцінити властивості самого середовища поширення сигналу. Вимірювання затухання сигналу допомагає визначити характеристики вузлів вводу виводу сигналу із середовища, що дозволяє підвищити їх ефективність після певних змін. Тому дослідження способів оцінки затухання сигналу є актуальною задачею.

II. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПРАЦЮВАННЯ

При прийомі сигналу який поширювався в середовищі разом із корисним сигналом буде отримано й завади. Вплив на корисний сигнал призводить до його спотворення. Якщо характеристики завади відомі і регулярні, то боротьба з нею є відносно простою. Завади з відомими параметрами можуть бути відфільтровані. Але проблемою стають випадкові завади і ті, що мають спектральне перекриття з корисним сигналом. При дослідженні сигналів у широкому діапазоні частот і при визначенні спектру імпедансів середовища виникає необхідність опрацювання сигналів для зменшення впливу всіх видів завад.

Одним із способів зменшення впливу випадкових завад - це усереднення результату протягом певного часу. Дискретне перетворення Фур'є є одним з методів усереднення сигналів на певному періоді, що дозволяє отримати набір усереднених спектральних оцінок сигналу.. Методи усереднення дозволяють зменшити вплив швидкоплинних процесів на ділянку усереднення, що сприяє ефективній обробці сигналів. При цьому енергія вищих спектральних складових перетворюється в енергію нижчих складових.

Усунути випадкову високочастотну складову завади на фоні низькочастотного корисного сигналу можна усередненням, за умови симетричного закону щільності розподілу значень випадкової складової. Тому, для зменшення впливу завади усередненням необхідною умовою є симетричний закон щільності розподілу значень сторонніх сигналів. Для періодичних сторонніх сигналів необхідною умовою є кратність періоду усереднення тривалості періоду завади.

Сутність закону розподілу фізичного процесу можна розуміти через його вигляд. Випадкові сигнали завжди відображають певну подію і формуються шляхом накопичення результатів окремих процесів, з яких вони складаються. Залежно від кількості цих процесів можуть виникати різноманітні закони розподілу. У більшості систем без тертя закон розподілу є симетричним. Але існують процеси, на які впливають нелінійні закони, що виникають внаслідок роботи вентиляльних механізмів, і це призводить до несиметричного закону розподілу. У такому випадку використання усереднення призводить до помилок.

Неможливо наперед гарантувати симетричний закон розподілу для зовнішнього сигналу. Тому перед

застосуванням усереднення як механізму виділення корисного сигналу від завад, необхідно аналізувати сигнали і переконуватися в симетричності їх закону розподілу. Один із способів гарантування симетричного закону розподілу будь-якого розподілу полягає в застосуванні бінарної модуляції або маніпуляції біполярною функцією з дискретними значеннями. Загалом, біполярна функція може мати будь-який закон, проте для значень має виконуватися умова симетричності їх ймовірностей: .

Якщо частота модулюючої біполярної функції перевищує частоту несучого сигналу, то сторонній сигнал, що модулюється цією функцією, матиме симетричний закон розподілу відносно нуля рис.1.

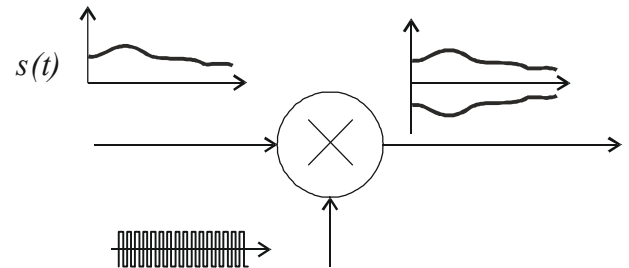


Рис. 2. Формування симетричного сигналу за допомогою модуляції біполярною функцією

Модуляція здійснюється прямокутним сигналом. Внаслідок модуляції розширюється спектр модульованого сигналу[1], [2]. Модульований псевдовипадкового послідовністю широкосмуговий сигнал подається в досліджуване середовище. В результаті взаємодії із сторонніми сигналами корисний сигнал буде спотворений. Сторонні сигнали можуть бути як систематичними зі спектрами, зосередженими в смузі корисного сигналу так і випадковими.

Зворотна операція демодулювання призведе до розпилення стороннього сигналу до виду псевдовипадкового із симетричним законом розподілу, а корисний сигнал буде відновлено до свого початкового виду[3]. За цим з допомогою дискретного перетворення Фур'є шукається усереднена амплітуда.

III. СТРУКТУРНА СХЕМА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Структурну схему інформаційної системи із різними етапами перетворення сигналу зображено на рис.2.

Генератор G1 створює гармонійний сигнал u_1 зі сталою частотою для дослідження. Одночасно з u_1 формується сигнал синхронізації, який подається на вхід генератора випадкової послідовності G2. Генератор G2, синхронно з періодом u_1 , генерує біполярний модулюючий сигнал u_2 . Після проходження через балансний модулятор M1, утворюється фазоманіпульований сигнал u_3 .

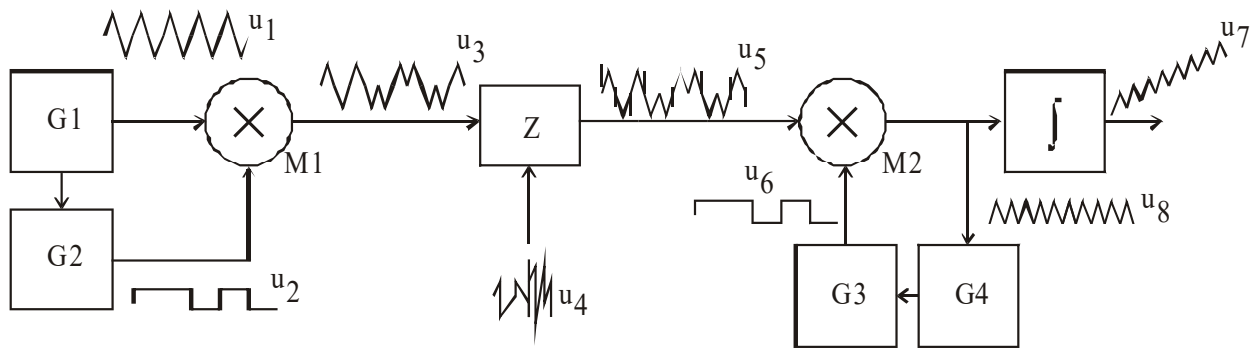


Рис. 3. Формування симетричного сигналу за допомогою модуляції біполярною функцією

Біполярний сигнал складається зі значень +1 або -1, які втримуються протягом певного часу. Мінімальний час, протягом якого зберігається фіксований рівень, називається "біт випадкової послідовності". Значення біта змінюється випадковим чином, але мінімальний час, протягом якого воно залишається незмінним, є постійним та кратним періоду досліджуваного сигналу. Формування одного біта u_2 займає k періодів u_1 .

Після модуляції, до модульованого сигналу u_3 додається стороння завада u_4 . Сумарний сигнал u_5 складається з немодульованого сигналу завади і модульованого досліджуваного сигналу. Цей сумарний сигнал подається на балансний модулятор M2. На інший вхід модулятора поступає синхронний з півперіодом випадковий сигнал від генератора G3. Генератор G3 синхронізується з генератором G4.

Генератор G4 синхронізується з вхідним сигналом u_5 по фазі. Таким чином, генератор псевдовипадкового сигналу синхронізується з вхідним сигналом з точністю до півперіоду. Цю неточність легко усунути якщо не приймати до інтегрування сигнал доки не буде досягнуто початку півперіоду за сигналом u_8 .

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ЗАПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

Запропонована схема опрацювання сигналу моночастоти дозволяє зменшити вплив завад різного характеру як

когерентних, зосереджених в смузі частот корисного сигналу, так і випадкових сигналів за рахунок збільшення часу спостереження. Корисний сигнал при цьому попередньо зазнає фазової маніпуляції за псевдовипадковим законом. Така маніпуляція розподіляє енергію корисного сигналу в широкій смузі частот. Після демодуляції отриманої суміші корисного сигналу і сигналу завади форма корисного сигналу відновлюється, енергія корисного сигналу зосереджується на частоті корисного сигналу, а енергія стороннього сигнал навпаки розпоршується в широкій смузі частот і може бути усунена фільтруванням.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [17] Gallager R. Principles of Digital Communication/Cambridge University Press. –2016. –368 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316337387>
- [18] Storm E. An introduction to spread spectrum systems/ Erik Storm, Tony Ottosson, Ame Svensson // Technical report no.R016/2002. Department of Signals and Systems Chalmers University of Technology SE-41296 Goteborg, Sweden. –2002. –29 p.
- [19] Стрілецький Ю.Й. Використання широкопasmової модуляції сигналів при дослідженні електричного імпедансу/ 8-ма міжнародна н/т конф. Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання. 14-16 листопада 2017р. м. Івано-Франківськ. С. 19-20.

Імітаційне моделювання компонентів систем керування на базі PLC і SCADA

Микола Николайчук
кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
mykola.nykolaichuk@nung.edu.ua

Юрій Рісков
кафедра Інформаційно-телекомунікаційних
технологій та систем
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
м.Івано-Франківськ, Україна
yraif33@gmail.com

Simulation modeling of control system components based on PLC and SCADA

Mykola Nykolajchuk
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
mykola.nykolaichuk@nung.edu.ua

Yura Riskov
Department of Information and Telecommunication
Technologies and Systems
Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
yraif33@gmail.com

Анотація—В роботі наведено результати розробки і тестування методики для реалізації задач імітаційного моделювання компонентів систем керування на базі PLC і SCADA.

Методика включає процедури створення проектів систем керування на базі ПЛК в інструментальних програмних середовищах, конфігурування і параметрування апаратних засобів системи, налагодження комунікаційного середовища, створення прикладних програм на мовах стандарту IEC 61131-3, симуляцію проекту в режимі «run-time».

Виконано інтеграцію в проект системи керування компонентів людино-машинного інтерфейсу на базі SCADA з доступом до тегів ПЛК і можливістю взаємодії між ними в режимі симуляції.

Abstract— The work presents the results of the development and testing of the methodology for the implementation of tasks of simulation modeling of control system components based on PLC and SCADA.

The methodology includes procedures for creating projects of PLC-based control systems in instrumental software environments, configuring and parameterizing system hardware, debugging the communication environment, creating application programs in the languages of the IEC 61131-3 standard, project simulation in «run-time» mode.

SCADA-based human-machine interface components with access to PLC tags and the possibility of interaction between them in simulation mode were integrated into the project.

Ключові слова: імітаційне моделювання; системи керування; ПЛК (Програмований логічний контролер); SCADA (Системи диспетчерського керування і збору даних).

Keywords: simulation modeling; control systems; PLC (Programmable Logic Controller); SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

I. ВСТУП

Задачі розробки, впровадження і експлуатації сучасних систем керування технологічними об'єктами передбачають на певному етапі проектування - створення математичних та імітаційних моделей об'єкту керування і тестових сигналів для симуляції режимів роботи та дослідження інформаційних процесів.

Відповідно, актуальними є задачі зі створення імітаційних моделей, тестових сигналів та методичного забезпечення для тестування і вводу в експлуатацію компонентів систем керування на базі PLC і SCADA засобами інструментальних програмних пакетів.

II. ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

На основі проведеного аналізу та з урахуванням розповсюдженості в Україні та Європейському Союзі - найбільш оптимальними для побудови систем керування технологічними об'єктами визначені апаратно-програмні засоби Simatic S7 «Siemens», які відповідають сучасним вимогам до систем керування, є уніфікованими і сертифікованими [1].

Інструментальне програмне середовище від «Siemens» TIA Portal (Totally Intergation Automation Portal) включає весь необхідний інструментарій для реалізації вищевказаних задач [2]:

- створення систем керування на базі PLC;
- налагодження комунікаційного середовища систем керування;
- створення прикладних програм на мовах стандарту IEC 61131-3;
- створення людино-машинного інтерфейсу на базі операторних панелей та повнофункціональних SCADA;
- створення клієнт-серверних WEB-орієнтованих топологій систем керування;
- створення імітаційних моделей і тестових сигналів для систем керування.

Розроблено тестовий проект, який реалізує вищевказані розділи методики проектування компонентів систем керування з функціями імітаційного моделювання.

На рис. 1.1 наведено результат створення тестового проекту на базі PLC S7-1200 в редакторі апаратних засобів «Device Configuration», що включає дерево проекту, робоче поле, бібліотеку апаратних засобів та інструменти для проектування.

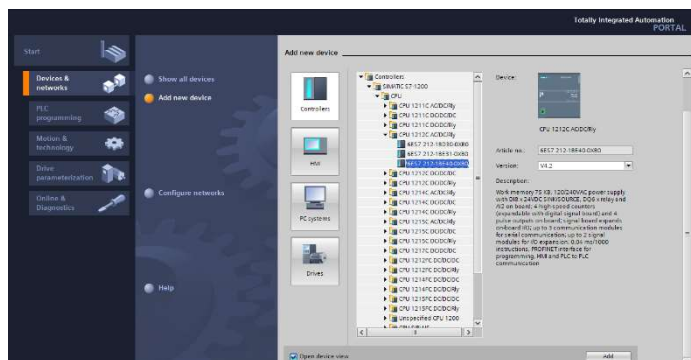


Рис. 1. Тестовий проект на базі PLC S7-1200 в редакторі апаратних засобів «Device Configuration»

В редакторі апаратних засобів «Device Configuration» виконується:

- конфігурування апаратних засобів системи керування (створення програмної копії апаратних засобів системи, що проектується);
- параметрування PLC, сигнальних і комунікаційних модулів системи;
- налагодження комунікаційного середовища системи;
- створення прикладної програми на мовах стандарту IEC 61131-3;
- підготовка проекту до симуляції в програмі-симуляторі Simatic PLCSIM для TIA Portal [3].

В редакторі мереж «Network View» виконується налагодження і параметрування мережевих компонентів та комунікаційного середовища проекту (рис. 2).

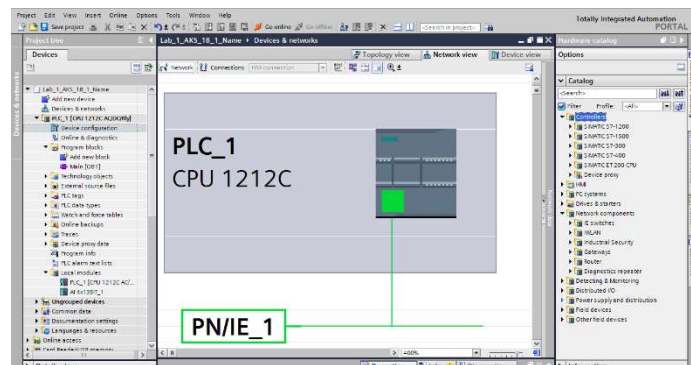


Рис. 2. Налагодження і параметрування мережевих компонентів в «Network View»

На рис. 3 наведено результат виконання команди пошуку доступних пристроїв для завантаження проекту в симулятор Simatic PLCSIM [4].

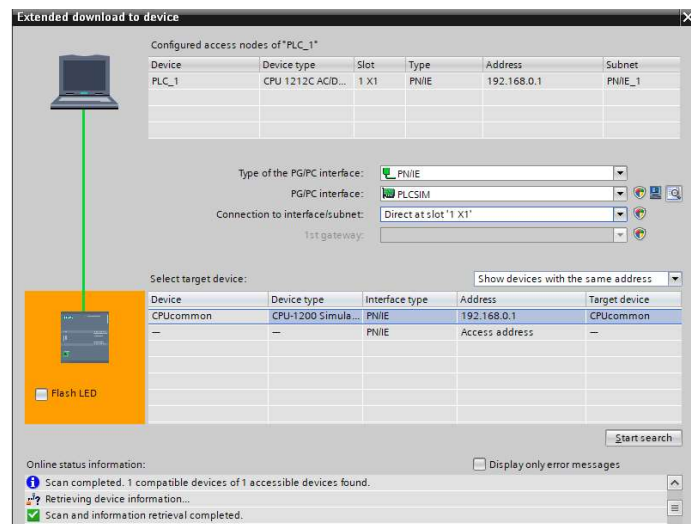


Рис. 3. Процес завантаження проекту в симулятор Simatic PLCSIM

На рис. 4 наведено результат виконання команди «Go online» після завантаження проекту в симулятор PLCSIM.

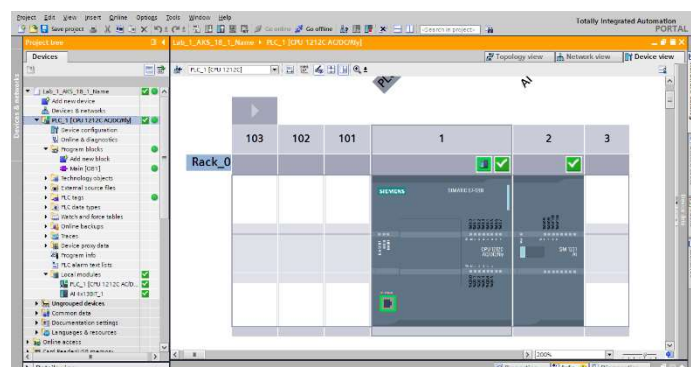


Рис. 4. Режим «on-line» після завантаження проекту в симулятор PLCSIM

III. ІНТЕГРАЦІЯ КОМПОНЕНТІВ ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ В ПРОЕКТ

Людино-машинний інтерфейс передбачає реалізацію у виді операторних панелей або повнофункціональної SCADA [5]. На рис. 5 наведено результат інтеграції в тестовий проект операторної панелі KTR400 Basic PN.

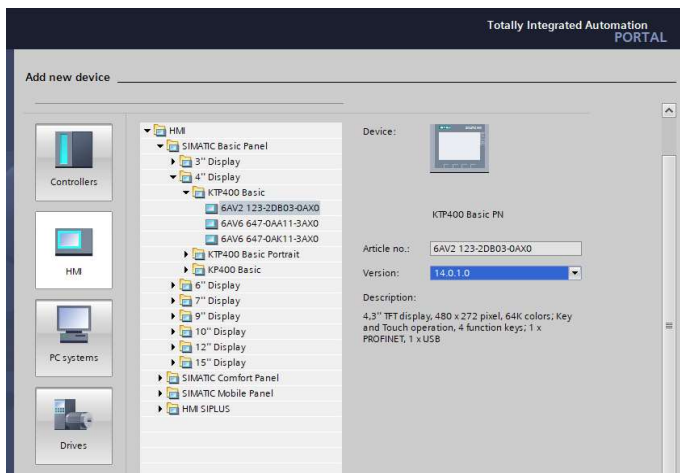


Рис. 5. Інтеграція в проект компонентів людино-машинного інтерфейсу KTR400 Basic PN

На рис. 6 наведено результат симуляції проекту одночасно для PLC S7-1200 і операторної панелі KTR400 Basic PN.

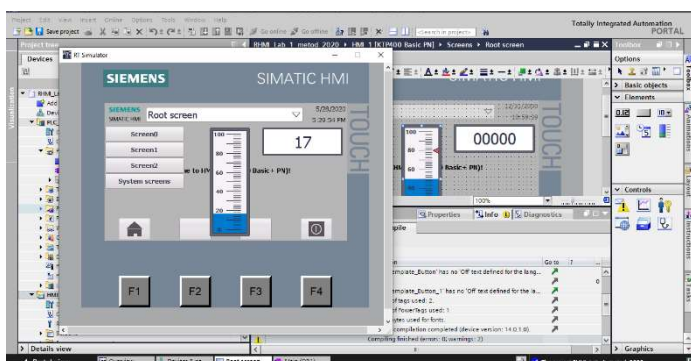


Рис. 6. Симуляція проекту одночасно для PLC S7-1200 і операторної панелі KTR400 Basic PN

Додатково, імітаційне моделювання аналогічним чином може виконуватись на пофнофункціональних SCADA для систем керування складними технологічними об'єктами.

IV. ВИСНОВКИ

В результаті виконаних робіт розроблено тестовий проект і методичний приклад для побудови імітаційних моделей компонентів систем керування на базі PLC і SCADA.

Такий підхід використовується при розробці, впровадженні та обслуговуванні сучасних систем керування технологічними об'єктами [6], дослідженні режимів роботи технологічного обладнання [7], а також використовується в навчальному процесі в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу для відповідних спеціальностей і освітньо-професійних програм.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] <https://support.industry.siemens.com> - Siemens Industry Online Support. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - Режим доступу: <http://www>.
- [2] <https://support.industry.siemens.com/cs/ww/en/view/109750456> - Digitalization with SIMATIC TIA Portal. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - Режим доступу: <http://www>.
- [3] [https://support.industry.siemens.com/cs/document/109748099/testing-and-simulating-hmi-projects-\(tia-portal\)-in-conjunction-with-simatic-controllers-plcsim-and-plcsim-advanced?dti=0&lc=en-US](https://support.industry.siemens.com/cs/document/109748099/testing-and-simulating-hmi-projects-(tia-portal)-in-conjunction-with-simatic-controllers-plcsim-and-plcsim-advanced?dti=0&lc=en-US). [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - Режим доступу: <http://www>.
- [4] <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109752283/diagnostic-s-overview-for-simatic-s7-1200-and-s7-1500?dti=0&lc=en-US>. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - Режим доступу: <http://www>.
- [5] <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109798671-SIMATIC-STEP-7-Basic/Professional-V17-and-SIMATIC-WinCC-V17>. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт] - Режим доступу: <http://www>.
- [6] 1. Николайчу М.Я. Компоненти систем управління з розширенням реального часу. Summer Infocom Advanced Solutions 2017 [Текст] : матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф., 1-2 червня, 2017 р. (С. 69-70) / Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського" ; [голов. ред. Писаренко А. В.]. - Київ : Інжиніринг, 2017. - 120 с. : рис., табл. - Бібліогр. в кінці ст. - ISBN 978-966-2344-54-7.
- [7] М.Я.Николайчук, Л.М.Заміховський. Перспективні топології систем управління реального часу на базі технологій віртуалізації. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції "ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ" Івано-Франківськ (20 – 25 травня 2019 року). – С 24-27.

Інтелектуальний модуль обліку матеріальних ресурсів для ERP-системи “ПлазмІС”

Олег Бісікало, Валерій Старжинський

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

Вінницький національний технічний університет

Вінниця, Україна

obisikalo@gmail.com

Анотація — Представлено основні можливості та функціонал модуля “Бірки партія-тара” інформаційної системи “ПлазмІС”. Подано моделі інтелектуального модуля. Розглянуто принципи друку бірок та розроблено методику друку бірок з інформаційної системи.

Ключові слова— Інтелектуальний модуль, система, ERP, ПлазмІС, бірка, друк, Industry 4.0

І. ВСТУП, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

Протягом останніх 20-ти років бізнес-додатки та програми еволюціонували від інформаційних систем управління до корпоративних інформаційних систем, які пропонують підтримку прийняття рішень для планування ресурсів підприємства. Планування ресурсів підприємства – це діяльність, яка включає закупівлі, виробництво, проект, людські ресурси, фінанси та надає точні дані в режимі реального часу, які допомагають відповідальним особам або керівникам приймати обґрунтовані та ефективні рішення. Мета такого планування полягає у впорядкуванні потоків інформації між усіма бізнес-процесами в межах підприємства та ефективному керуванні всіма його підрозділами для всієї множини функцій і задач.

Швидкий розвиток інформаційних технологій зберігання, комунікації та обробки даних дозволяє зберігати та обробляти всю інформацію в кіберпросторі.

Програмне забезпечення “Enterprise Resource Planning” намагається об’єднати всі виробничі та сервісні відділи з їхніми властивими функціями в єдину інтелектуальну комп’ютерну систему для вирішення різних проблем і задоволення різноманітних потреб цих відділів.

Впровадження єдиної системи, яка відповідає потребам різних відділів (наприклад, фінансів, складу, кадрів) є складним завданням, оскільки ці відділи мають індивідуальне програмне забезпечення, розроблене та оптимізоване відповідно до роботи кожного відділу. Однак, якщо його правильно впровадити, цей комплексний підхід може бути дуже ефективним для підприємства з економічної точки зору. На основі єдиної інформаційної системи ERP різні відділи можуть легко обмінюватися даними та інформацією один з одним [1].

Незважаючи на всі технологічні прориви в цьому напрямку, існує ряд завдань, над якими зараз працюють

світові IT-компанії, наприклад: масштабування баз даних за розміром (до петабайт), автоматизація розробки та адміністрування баз даних і ERP-систем, автоматичне виявлення тенденції даних, структури та аномалії (видобуток даних, аналіз даних, зокрема інтелектуальний тощо) [2]. Актуальним є завдання створення окремих модулів у рамках існуючої ERP-системи підприємства, що дозволяє підвищити рівень автоматизації окремих видів робіт і, як наслідок, досягти вимірних економічних переваг підприємства в цілому [3].

ІІ. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА “ПЛАЗМІС”, МОДУЛЬ “БІРКИ ПАРТІЯ-ТАРА”

Основним завданням в управлінні даними та прийнятті рішень є комплексні завдання, які потребують значної уваги та відповідальності. Ось чому сучасний бізнес швидко відмовляється від застарілих рішень для планування ресурсів, управління продажами, маркетингу, кадрів і фінансів. Більше половини підприємств вважають ERP одним із пріоритетних секторів для інвестицій. Ринок програмного забезпечення ERP зростає зі швидкістю 10% щорічно, і очікується, що його загальна частка досягне \$90 млрд до 2028 року [4, 5].

«ПлазмаІС» — велика багаторівнева ERP-система, яка розроблена на основі вимог заводів групи компаній ПрАТ «ПлазмаТек». Це найбільша корпорація з виробництва сировини та повного циклу зварювальних електродів в Україні. У 2011 році створено ERP систему «ПлазмІС». З того часу система знаходиться в стадії використання та постійного оновлення та вдосконалення на основі постійного розвитку виробництва на підприємствах ПрАТ «ПлазмаТек». Робота цієї системи охоплює всі етапи від початкового виробництва до транспортування готової продукції з урахуванням виробничих процесів на кожному з заводів корпорації.

Виробництво електродів неможливо без постачання та виробництва спеціальної сировини. Коли сировина надходить на фабрику або завод, її необхідно швидко ввести в систему з одноразовим друком спеціальної бирки для позначення ємності, в якій знаходиться сировина. Для цього було поставлено завдання в розробці модуля «Теги про партію і тару», який полегшить і автоматизує процес прийому сировини на заводі.

Модуль «Бірки про партію та тару» є автоматизованим інтелектуальним блоком інформаційної системи складського обліку. Основні вимоги, які висувуються до розділу, це збір, аналіз та зберігання індивідуальних даних з подальшим їх об'єднанням у цілісну таблицю для зручного використання. Окрім аналізу цих даних, особливу увагу було приділено друку тегів. Вся зібрана інформація збирається за допомогою певних технологій у бірках, які можна зручно та швидко роздрукувати за допомогою інтерфейсу та спеціальних функцій – це мета нашого дослідження.

III. МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

ормальні зв'язки [6], які дозволяють розглядати інформаційну складову [7] модуля «Бірки партія-тара» в термінах реляційної моделі даних:

$$RE = \{item, item_part, barcode, item_storage, item_unit_storage\}, \quad (1)$$

де, *Item* - відношення для характеристики матеріальних цінностей; атрибути, з яких складається це відношення, позначають: *itm_id* (унікальний ід-код певної матеріальної цінності), *itm_unt* (основна одиниця виміру, в якій вимірюється дана матеріальна цінність), *itm_mrk* (марка матеріальної цінності), *itm_name* (назва матеріальної цінності українською мовою), *itm_name_rus* (назва матеріальної цінності російською мовою), *itm_name_en* (матеріальної цінності англійською мовою), *itm_comment* (примітки), *itm_rec_dt* (дата останніх змін інформації по окремій матеріальній цінності), *itm_rec_st* (актуальний статус) тощо.

$$Item \subset itm_id \times itm_itm_g \times itm_unt \times itm_mrk \times itm_code \times itm_inv \times itm_inv_b \times itm_name_rus \times itm_name_eng \times itm_name_b \times itm_comment \times itm_rec_dt \times itm_rec_st \times itm_obi_ts,$$

Item part - відношення для характеристики партій; атрибути, з яких складається це відношення, позначають: *itpt_id* (унікальний ід-код партії певної матеріальної цінності), *itpt_dpr* (ід-код матеріальної цінності), *itpt_num* (номер партії), *itpt_dt* (дата створення партії), *itpt_st* (актуальний статус), *itpt_comment* (примітки), *tpt_crtf* (сертифікат) тощо.

$$Item_part \subset itpt_id \times itpt_dpr \times itpt_itm \times itpt_itm_equip \times itpt_ca \times itpt_crtf \times itpt_mrk \times itpt_kind \times itpt_num \times itpt_num_org \times itpt_dt \times itpt_st \times itpt_comment \times itpt_obi_ts,$$

Barcode – відношення для характеристики основних даних про партію, тару. З цієї таблиці формується бірка. Атрибути, з яких складається це

відношення, позначають: *bc_id* (унікальний ід-код певної по партії, тарі), *bc_itpt* (ід-код по партії матеріальної цінності), *bc_grp* (група по партії, тарі), *bc_count* (кількість/вага), *bc_comment* (примітки), *bc_rec_st* (актуальний статус), *bc_rec_dt* (дата запису), *bc_dt* (дата), *bc_seal* (пломба) тощо.

Item unit storage – відношення для характеристики одиниць зберігання; атрибути, з яких складається це відношення, позначають: *ius_id* (унікальний ід-код певної одиниці зберігання),

$$Barcode \subset bc_id \times bc_itpt \times bc_ist \times bc_grp \times bc_count \times bc_comment \times bc_rec_st \times bc_rec_dt \times bc_obi_ts \times bc_ius \times bc_dt \times bc_seal \times bc_st,$$

ius_name (назва певної одиниці зберігання), *ius_coef* (коефіцієнт одиниці зберігання), *ius_rec_st* (актуальний статус), *ius_rec_dt* (дата запису), *ius_comment* (примітки), *ius_name_rus* (назва певної одиниці зберігання російською мовою), *ius_name_en* (назва певної одиниці зберігання англійською мовою) тощо.

Item storage – відношення для характеристики місць

$$Item_unit_storage \subset ius_id \times ius_itm \times ius_unt \times ius_unt_rpt \times ius_mrktr \times ius_pck \times ius_name \times ius_name_rus \times ius_name_eng \times ius_coef \times ius_is_use_price \times ius_unt \times ius_descript \times ius_comment \times ius_rec_st \times ius_rec_dt \times ius_obi_ts,$$

зберігання; атрибути, з яких складається це відношення, позначають: *ist_id* (унікальний ід-код певного місця зберігання), *ist_tp* (тип місця зберігання), *ist_num* (номер місця зберігання), *ist_name* (назва місця зберігання), *ist_comment* (примітки), *ist_rec_st* (актуальний статус), *ist_rec_dt* (дата запису) тощо.

$$Item_storage \subset ist_id \times ist_ist \times ist_dpr \times ist_itm \times ist_plt \times ist_tp \times ist_num \times ist_name \times ist_weight \times ist_comment \times ist_rec_st \times ist_rec_dt \times ist_obi_ts \times ist_pck,$$

На рис. 1 розглянуті відношення моделі друку бірок представлено у вигляді схеми бази даних.

$$O_{pc}: (indent) \rightarrow pixel_count. \quad (7)$$

6) Одним із найважливіших елементів бірки є штрих-код. Він розроблений за допомогою спеціальної функції, яка генерує візуальне представлення штрих-коду *BarcodeImage*. Сам штрих-код формується з трьох полів: *id* частини матеріальної цінності (*id_part*), *id* зберігання речей (*id_goods*) та *id* штрих-коду (*id_barcode*). Оператор друку штрих-кодів:

$$O_b: (id_part, id_goods, id_barcode) \rightarrow BarcodeImage. \quad (8)$$

Так, у результаті дослідження розроблено модель бази знань [6, 7] інтелектуального модуля «Бірки партія-тара»:

$$KnowledgeBase = \langle Rule, Pr, Func, Op \rangle, \quad (9)$$

складається з правил виробництва (2–6):

$$Rule = \{LogoR, FormaR, RowR, FieldR, TurnR\},$$

предикати (2'–6'):

$$Pr = \{A(l_i), B(f_j), Row_j, Field_j, Turn\},$$

функції:

$$Func = \{PrintL, PrintRow, PrintField, PrintTurn\},$$

Та оператори (7–8)

$$Op = \{O_{pc}, O_b\}.$$

ВИСНОВКИ

Запропонована в цій статті база знань представляє собою онлайн-бібліотеку (надбудову) на основі розробленої бази даних, яка зберігає інформацію про продукт, послугу, конкретні теми або компанію в цілому. Надіслані дані можна розбити на теми та підтеми, а потім легко поділитися ними з клієнтами чи колегами. Чим простіше і чіткіше організована інформація в базі знань, тим більшу цінність вона принесе користувачам [14].

У результаті дослідження технологічних особливостей складської діяльності розроблено реляційну модель (1) інтелектуального модуля, запропоновані п'ять відношень моделі друку етикеток представлені у вигляді схеми бази даних. Для створення бази знань (9) було обґрунтовано склад множин для продукційних правил, предикатів, функцій та операторів, які були запропоновані як доповнення до зв'язків реляційної бази даних.

В результаті розробки інтелектуального модуля обліку матеріальних ресурсів інформаційної системи «ПлазмІС», що відповідає за створення та роздрукування бірок для всіх задіяних у виробництві партій сировини, комплектуючих, товарів та відповідної тари, помітно підвищено ступінь автоматизації на підприємстві «ПлазмаТек».

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Severin V. Grabski. Stewart A. Leech. Pamela J. Schmidt. A Review of ERP Research: A Future Agenda for Accounting Information Systems. Journal of Information Systems(2011). doi: 10.2308/jis.2011.25.1.37.

[2] David Kocsis. A conceptual foundation of design and implementation research in accounting information systems. International Journal of Accounting Information Systems(2019). doi: 10.1016/j.accinf.2019.06.003.

[3] Tobon Valencia Estefania. Lamouri Samir. Pellerin Robert. Dubois Patrice. Moouf Alexandre. The integration of ERP and inter-intra organizational information systems: A literature Review International Federation of Automatic Control(2018). doi: 10.1016/j.facol.2018.08.425.

[4] Wilmer Cruz-Torres. Aldo Alvarez-Risco. Shyla Del-Aguila-Arcatales. Impact of Enterprise Resource Planning (ERP) Implementation on Performance of an Education Enterprise: A Structural Equation Modeling. Studies in Business and Economics (2021). doi: 10.2478/sbe-2021-0023

[5] O. V. Bisikalo, V. V. Kovtun and O. V. Kovtun, "Modeling of the Estimation of the Time to Failure of the Information System for Critical Use," 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2020, pp. 140-143, doi: 10.1109/ACIT49673.2020.9208883.

[6] O. V. Bisikalo, V. V. Kovtun, O. V. Kovtun and V. B. Romanenko, "Research of safety and survivability models of the information system for critical use," 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Kyiv, Ukraine, 2020, pp. 7-12, doi: 10.1109/DESSERT50317.2020.9125061.

[7] Eduardo Santamaria-Vázquez. Víctor Martínez-Cagigal. Fernando Vaquerizo-Villar. Roberto Hornero EEG-Inception: A Novel Deep Convolutional Neural Network for Assistive ERP-Based Brain-Computer Interfaces. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering(2020). doi: 10.1109/TNSRE.2020.3048106.

[8] Enterprise Resource Planning (ERP) adoption in a hybrid service and manufacturing Small and Medium-sized Enterprise (SME): an action case study. - Salford Business School University of Salford, Salford, UK. 2016. – 330 p.

[9] Danilczuk W. Gola A. Computer-aided material demand planning using erp systems and business intelligence technology. Computer-aided material demand planning using erp systems and business intelligence technology. Applied computer science (2020). doi: 10.35784/acs-2020-20.

[10] O. Bisikalo, D. Chernenko, O. Danylchuk, V. Kovtun and V. Romanenko, "Information Technology for TTF Optimization of an Information System for Critical Use that Operates in Aggressive Cyber-Physical Space," 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), 2020, pp. 323-329, doi: 10.1109/PICST51311.2020.9467997.

[11] Abdullah ALAmri. The relational database layout to store ontology knowledge base. International Conference on Information Retrieval & Knowledge Management (2012). doi: 10.1109/InfRKM.2012.6205039.

[12] O. Bisikalo, I. Bogach and V. Sholota, "The Method of Modelling the Mechanism of Random Access Memory of System for Natural Language Processing," 2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET), Lviv-Slavske, Ukraine, 2020, pp. 472-477, doi: 10.1109/TCSET49122.2020.235477.

[13] S. Gupta, S. C. Misra, N. Kock, and D. Roubaud, "Organizational, technological and extrinsic factors in the implementation of cloud ERP in SMEs," J. Organ. Chang. Manag., vol. 31, no. 1, pp. 83–02, 2018. doi: 10.1108/JOCM-06-2017-0230.

[14] D. Arie, R. Kvyetnyy, O. Bisikalo and Y. Bunyak, "Information model of the Unispher™ platform for creation and using the smart content for education," Proceedings of the 4rd International Workshop on Intelligent Information Technologies and Systems of Information Security (IntelITSIS'2023), March 22–24, 2023, Khmelnytskyi, Ukraine, CEUR Workshop Proceedings, Volume 3373, 2023, pp. 185–194.

Stages of Data Analysis Process to Implementing E-government Project

Mohamed Al Kilani
Software Engineering Dep.
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
moh_alkilani@yahoo.com

Volodymyr Kobziev
Software Engineering Dep.
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

Етапи Процесу Аналізу Даних для Впровадження Проекту Електронного Урядування

Мохамед Ал Кілані, Володимир Кобзєв
Кафедра Програмної інженерії
Харківський національний університет радіоелектроніки
Харків, Україна
moh_alkilani@yahoo.com, volodymyr.kobziev@nure.ua

Abstract—The success of implementing any project depends largely on identifying the weaknesses and strengths of a project, through a set of stages. This paper aims to clarify the main stages of implementing e-government project, also to explain the stages by answering the several most important questions

Анотація—Успіх реалізації будь-якого проекту значною мірою залежить від визначення слабких і сильних сторін проекту через ряд етапів. Ця робота має на меті з'ясувати основні етапи реалізації проекту електронного урядування, а також пояснити їх, відповівши на кілька найважливіших питань

Keywords—Data Collection; Data Analysis; Conceptual Framework
Ключові слова— Збір даних; Аналіз даних; Концептуальна основа

I. INTRODUCTION

In general, to implement successfully project it is necessary to understand the project components and clarifying the benefits, barriers, and risks, as well as know the opinions and attitudes about the factors that influence the implementation of a project.

E-government project is not a new concept, but also it is not easy to implement. e-government project requires a clear vision to implement, and clarify the main components, as well as identify the benefits and barriers of the transfer to e-government services [1].

In this paper will discuss the fundamental stages of implementing the e-government project and avoid the failure.

II. STAGES OF DATA ANALYSIS PROCESS

A. Literature Review

According to the field of study in this article, which is the e-government project, the literature review is a very important step, to build out a clear picture of the e-government project, and identified weaknesses and strengths of the project.

The literature review helps the researcher to avoid mistakes and problems that can be occurred during the implementation of the e-government project.

In the e-government project, the literature review plays an important role in identifying the main factors of the project, as well as the main elements of each factor.

B. Data Collection Stage

Data collection stage is very important step to uncover all the details relevant to the research. Rowley (2002) defined that data collection and analysis can contribute to support research propositions. On other hand, many studies (for example [2-5]) identified different sources to collecting data, which are: Interview; Documents; Direct observations.

According to the literature review, the researcher must determine the research aims, the data required and research context, to select the suitable method for collecting data to build a conceptual framework for evaluating e-government implementation.

We suggest considering the following method to collecting the data [6, 7].

Case study

The case study is the preferred research strategy for collecting data. The case study is known as a practical methodology, which focus on current phenomenon or real-life context, and allows researchers to investigate and understand in depth of the phenomenon [5, 8, 9].

In papers [2, 4] authors defined case study as a method that investigates phenomenon within its natural setting. Case study is a powerful method in theory building, and deep understanding to phenomenon within its particularity. The case study allows the researcher to investigate, explore and collecting data within an organization to be studied.

Yin (in [10]) defined the case study according to set of features, which are:

- The phenomenon is examined in its natural setting.
- More than one entity can be examined at the same time.
- Knowledge is constructed rather than discovered or found.
- Use more than one method to collecting data.
- Helpful to explore data and explain the complexities of real-life which may not available in experimental or survey research.

Interviews

The interview method one of the methods that help the researcher to discover issues and collecting the needed data. The interview one of the methods that have the ability to clarify incomplete issues or unclear, this method enables the researcher to understand interviewee clearly. In [10] Yin state that “one of the most important sources of case study information is the interview”. Open-ended interviews are two-way open communications; enable researchers to ask respondents for the facts as well their opinions.

In [11] Saunders et al. stated that the research interviews enable the researcher to gathering of wealthy and detailed information, though it needs a sufficient level of competence to conduct these, to gain the necessary of information data related to their use.

Documentation

Documentation is a content of data related to subjects prepared for a specific purpose ,and the document can be included paper, magazine, reports and electronic documents.

Documents are provided possibility to supplement needed information from other resources, and highlight the new ideas and insights that need further investigation by researcher [10]. Zakaria [12] defined that the document is useful source of information and build plans and ideas that can be manipulated during interviews.

Questionnaire

Nicholas Walliman [13] pointed out that questionnaire is flexible tool enable the researchers to organize the questions and receive replies from respondents without needed to talk with each one separately. Saunders et al. [11] found that “Although questionnaires may be used as the only data collection method, it may be better to link them with other methods in a multiple-methods research design”. Questionnaire has the ability to provide required data to the research in less time and no cost [14].

C. Data Analysis Stage

The procedure of data analysis is using to classify and identify the results of collected data to achieve the project goals. Saunders and Rojon [15] defined that the data analysis procedures “use to analyze data need to be explained clearly with examples if necessary”, the examples help to explain the cases in its natural setting. Theivananthampillai [16] pointed that, the data analysis are including three steps (collecting, noticing, and thinking steps) and added that data analysis procedures provided support for the hypothesis of research and clarified that the most cases in include three steps:”1) coding or annotating the primary data, 2) grouping together the related codes, and 3) generating the themes from the codes”.

According to [17] the collected data can be analyzed by the six main steps. Table I illustrated the steps of data analysis process in information system (IS).

TABLE I. STEPS OF DATA ANALYSIS PROCESS IN IS

No	Step	Description of Step
1	Organize and prepare the data for analysis	This involves transcribing interviews, record notes, cataloging and arranging the data into different types according to the sources of information, and prepared tables depending on the predefined set of factors.
2	Read or look at all the data.	Through the first step, the author wrote general ideas about the information and collected data, and take impression about the participant’s thoughts and what they say.
3	Start coding	Coding is the process of classification and arrangement of data by special symbols that can be bracketing chunks, text, image segments, or paragraphs to describe those categories.
4	Description (identifying factors)	Describe the new data findings through connecting and classify different themes.
5	Interconnecting themes , factors	An analytical discussion to Interconnect multiple perspectives from individuals, and quotations, themes, and common factors.
6	Making an interpretation	Based on the data analysis results and comparisons which gleaned from the literature or theories the author can add his own understanding and give the interpretation.

D. Design Conceptual Framework Stage

Design conceptual framework can be defined as an action plan to move from the stage of collected data and analysis to the next stage of designing; clarifying and drawing the main units of facers is very helpful to arrange the collected data in the right format, also provides a map to understand the needed component to implementing e-government project. Design conceptual framework also is useful stage to help other researchers to follow the framework and understand the concept of project and main factors, that can be developed in future work.

Design stage aims to give a clear picture of the structure of the project and outline all needed method and tools for the e-project.

Identifies the conceptual framework and the main factors that influencing the implementation of e-government, as well as identifies the key actors that enable researchers to prioritize for successful implementation of e-government project.

In additional, the conceptual framework clarify and determining the guidelines of needed elements to achieve the implementation of e-government services successfully. However, this stage illustrates the final framework with the critical factors with its main elements for adopting e-government.

E. Implementing Stage

The implementing stage can be defined as the stage to convert and implement what discussed above to reality. The success of the implementation phase depends on what is identified in the conceptual framework of main factors as well as its elements.

To ensure the smooth implementation stage of e-government service project successfully, the implementation process must include important steps such as evaluate performance and improvement, supporting the process of change.

III. CONCLUSIONS

The main goals of the paper are clarifying the needed steps to move to e-government project smoothly, as well as aiming to identified how to build a clear picture of the e-government project by literature review and collecting data by the different methods such as interview, documentation, and questionnaire, also gathering data by selecting a research strategy (case study).

However, the paper can be summarized in the following steps:

- Build a complete and clear picture of the project by literature review.
- Clarifying the stages that have to be taken into account to implementing e-government project.
- Collecting data by selecting the suitable method.

- Analyzing the collected data according to Creswell' steps of data analysis.
- Build a conceptual framework according to the findings.
- Make decision and priority in the implementation process.

REFERENCES

- [1] UN. E-Government Survey 2022. The future of digital government. UNITED NATIONS. New York, 2022. <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/>
- [2] Baboucarr Njie and Soaib Asimiran, 'Case Study as a Choice in Qualitative Methodology', *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 4 (2014), 35–40.
- [3] Gajendra Sharma, Xi Bao and Li Peng, 'Public Participation and Ethical Issues on E-Governance: A Study Perspective in Nepal', *Electronic Journal of e-Government*, 12 (2014), 82–96.
- [4] Jessica Iacono, Ann Brown and Clive Holtham, 'Research Methods – a Case Example of Participant Observation', *The Electronic Journal of Business Research Methods*, 7 (2009), 39–46.
- [5] Cb Meyer, 'A Case in Case Study Methodology', *Field methods*, 13 (2001), 329–52.
- [6] Kilani, M. A., & Kobziev, V. (2016). An overview of research methodology in information system (IS). *OALib*, 03(11), 1–9. <https://doi.org/10.4236/oalib.1103126>
- [7] Mohamed Al Kilani and Volodymyr Kobziev. Methodology of Data Collection in Information System (IS). Chapter 7 in: Current Overview on Science and Technology Research. Vol. 9. 16 November 2022. pp.132-144. DOI: 10.9734/bpi/costr/v9/3712C
- [8] Ahmed Al-azri and others, 'E-GOVERNMENT TRANSFORMATION: A CASE STUDY IN', *European, Mediterranean & Middle Eastern Conference on Information Systems*, 2010 (2010), 1–11.
- [9] Jennifer Rowley, 'Using Case Studies in Research', *Management Research News*, 25 (2002), 16–27.
- [10] Yin, R. K. Case study research: Design and methods (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage, 2003.
- [11] Mark Saunders, Philip Lewis and Adrian Thornhill, *Research Methods for Business Students*, *Research methods for business students*, 2009.
- [12] Omar Zakaria, 'Understanding Challenges of Information Security Culture: A Methodological Issue', *2nd Australian Information Security Management Conference*, 2004, 83–93.
- [13] Nicholas Walliman, *Your Research Project: A Step by Step Guide for the First Time Researcher*, 2001.
- [14] Wasfi Alrawabdeh, 'The Impact of Environmental Factors on E-Government Implementation: The Case of Jordan Author Detail: Wasfi Alrawabdeh- Faculty of Economics and Management Science, Hashemite University. Jordan', *International Journal of Management Sciences and Business Research*, 3 (2014).
- [15] Mark N K Saunders and Céline Rojon, 'There's No Madness in My Method: Explaining How Your Coaching Research Findings Are Built on Firm Foundations.', *Coaching: An International Journal of Theory, Research and Practice*, 7 (2014), 74–83.
- [16] Paul Theivananthpillai, 'Title: Understanding Quality in Qualitative Research in IS: A Practitioners Road Map Authors & Affiliations Contact Details':, *Department of Accountancy and Business Law, Working paper series*, 2009.
- [17] John W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*, 2014.

ЗМІСТ

ВИБІР ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ НЕПОВНОЇ ВИЗНАЧЕНОСТІ ПЕРЕВАГ МІЖ ПОКАЗНИКАМИ	4
Володимир Безкоровайний, Оксана Драз	
КОНЦЕПЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РАНЬОГО РОЗПІЗНАВАННЯ ВІДМОВ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	6
Сергій Бегун	
USING ARCHITECTURES – TRANSFORMERS FOR OBJECT DETECTION IN IMAGE PROCESSING	8
Вондан Благітко, Дмитро МIRONYUK, Ігор Зайачук	
ОЗВУЧУВАННЯ КОНТУРІВ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ВАДАМИ ЗОРУ	10
Лариса Вакал, Євген Вакал	
MEDICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS USING JAVA TECHNOLOGIES	12
Вікторія Астафієва, Дмитро Ннатченко	
ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЕКОНОМІЧНИМИ ЗМІННИМИ В ПРОЦЕСІ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	14
Олександр Захарчук, Роман Кветний	
ACHIEVEMENTS AND FAILURES OF MODERN COMPUTERIZED EDUCATIONAL SYSTEMS	18
KOGOUTIOUK IGOR	
ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОМИСЛОВИМ ПІДПРИЄМСТВОМ.....	20
Дмитро Костарев, Наталія Сізова, Андрій Тевяшев, Володимир Ткаченко	
ПРОБЛЕМИ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА	24
Дмитро Костарев, Наталія Сізова, Андрій Тевяшев, Володимир Ткаченко	
ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ РЕЛЕВАНТНИХ ДОМЕННИХ ЗНАНЬ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАДАЧ КЛАСИФІКАЦІЇ У ПРОЦЕСІ ВИДОБУВАННЯ ДАНИХ В КОНТЕКСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ БУРІННЯ	28
Віталій Мельник, Роман Петришин, Лідія Гобир, Христина Думка	
ІМЕТОД ПОЗИТИВНО-ОРІЄНТОВАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ З ДОПОВНЕНОЮ РЕАЛЬНОСТЮ (AR) В НАВЧАЛЬНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ.....	31
Ірина Мельник, Єлизавета Гащук, Галина Нефьодова	
ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН.....	33
Юлія Писаренко, Іван Варав, Тетяна Кравченко, Ольга Гульчак	
ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ ПРИСТРОЇВ ДИСТАНЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ.....	36
Юлія Писаренко, Ольга Гаврилюк, Володимир Малачинський, Сергій Ювов	
ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ СИТУАЦІЙНИХ ЦЕНТРІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ «УПРАВЛІННЯ_ТЕП» З ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА.....	40
Валерій Писаренко, Олександр Крячок, Юлія Писаренко, Олександр Коваль	
АГРОПОРТАЛ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ОБЛІКУ СТАНІВ ПОСІВІВ У МАЛОМУ ФЕРМЕРСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	44
Юлія Писаренко, Надія Чумакова, Євген Рево, Володимир Красношапка	
ПРО ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ ПОДОРОЖЕЙ.....	47
Андрій Костельний, Наталія Процах	

ПРО ВЕБ-ЗАСТОСУНОК ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗПОДІЛУ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВИКЛАДАЧІВ	49
ОЛЕКСАНДР АДАМОВСЬКИЙ, НАТАЛІЯ ПРОЦАХ	
NR-ПОВНІ ЗАДАЧІ ТА ЇХ АЛГОРИТМИ	51
МАРІЯ СЕМАНЬКІВ, ПАРИЛЯК ОЛЕГ	
ВИБІР ПІДХОДУ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ БАЗ ДАНИХ	54
МАРІЯ СЕМАНЬКІВ, ЯВОРСЬКИЙ ІГОР	
INFORMATION TECHNOLOGY FOR RECRUITMENT.....	57
VOLODYMYR TEMNIKOV, ANDRII TEMNIKOV	
EXPANDING THE POSSIBILITIES OF ELECTROCARDIOGRAM SIGNALS PROCESSING AND ANALYSIS	59
IHOR DUMYN	
PATTERN MATCHING WITH A COMPRESSED SHIFT TABLE	63
IGOR ZAVADSKYI, ANTON ZUIEV	
НОВИЙ АЛГОРИТМ ВИБОРУ РОЗМІРНОСТІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ КОДУВАННІ ЗОБРАЖЕНЬ	65
ЯРОСЛАВ ЛУЦ	
SOME PROBLEMS OF UNIFICATION THE LAWS OF INFORMATION THEORY	67
PETRO TROKHIMCHUCK	
MODEL OF THE DATABASE OF THE INTELLIGENT SYSTEM FOR THE RESEARCH OF SPACE WEATHER PARAMETERS	69
DANYLO IVANTYSHYN	
ПРИКЛАД ДОСЛІДЖЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ ВХІДНИХ І ВИХІДНИХ ВПЛИВІВ ПІДСИСТЕМ У ВЕЛИКИХ СИСТЕМАХ....	71
ОЛЕКСАНДР МАЛЬКО, АНДРІЙ СЕМЕНЧУК	
ОСОБЛИВОСТІ ПОШИРЕННЯ ВПЛИВІВ СКЛАДНИМИ МЕРЕЖЕВИМИ СИСТЕМАМИ	74
ОЛЕКСАНДР ПОЛИЩУК	
USING NEURAL NETWORKS TO IDENTIFY FAKE NEWS	79
ARTEM KHOVRAT, VOLODYMYR KOVZIEV	
ВПЛИВ ПОРОГОВОГО ПАРАМЕТРУ НА БІНАРНУ КЛАСИФІКАЦІЮ В МОДЕЛІ ШТУЧНОГО НЕЙРОНА МАККАЛОХА - ПІТТСА.....	82
ДАР'Я БІЛОКОНЬ	
VIRTUAL REALITY SYSTEMS INTEGRATION WITH NEURAL NETWORKS FOR IMMERSIVIRY ENHANCEMENT	87
VIKTOR SINEGLAZOV, ILLIA BORYNDO	
СТРУКТУРНА ДИНАМІКА ПРОГРАМНОГО АГЕНТА ІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ.....	91
СЕРГІЙ ГОЛУБ, РУСЛАН НЕМОВ, ВАДИМ НЕМЧЕНКО	
USING MACHINE LEARNING (ML) MODELS FOR COMPUTING VIIRS-LIKE NIGHTTIME LIGHTS BASED ON DMSP SATELLITE DATA.....	ПОМИЛКА! ЗАКЛАДКУ НЕ ВИЗНАЧЕНО.
TARAS KUTSYK, VITALIY KINAKH, TOMOHIRO ODA, ROSTYSLAV BUN	
ДОСЛІДНИЦЬКИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ПОБУДОВИ МОНІТОРИНГОВИХ АГЕНТІВ	101
ВОЛОДИМИР ОСТАПЮК, СЕРГІЙ ГОЛУБ	
TRUSTED AUTONOMOUS SYSTEMS: ORGANIZATION OF THE "THINKING SWARM"	104
YURI PROKOPCHUK, PAVLO NOSOV	

THE GENERALIZED MODIFIED TECHNIQUE FOR FINDING FUZZY DUPLICATES WITH DATA CONFIDENTIALITY.....	108
INNA ROZLOMII, VITALII VERETLYNYK, SERHII NAUMENKO	
ЯК ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДАНИХ ОБМАНЮЄ.....	111
МАРІЯ СЕМАНЬКІВ	
SCILAB ЯК СЕРЕДОВИЩЕ ДЛЯ ЧИСЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ.....	114
МАРІЯ СЕМАНЬКІВ	
РОЗПІЗНАВАННЯ ОБ'ЄКТІВ В ШТУЧНОМУ ІНТЕЛЕКТІ.....	116
ТИМОФІЄВА Н.К.	
ТРЬО-КУБІТНА КВАНТОВА СХЕМА ДЛЯ КВАНТОВОГО ЗГОРТКОВОГО ШАРУ	118
ВІКТОР СИНЕГЛАЗОВ, ПЕТРО ЧИННИК	
DEVELOPMENT OF AN EFFICIENT UKRAINIAN KEYBOARD LAYOUT USING A GENETIC ALGORITHM.....	121
BURKOV ANTON, SHUMACHENKO ELENA	
ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ.....	125
ВОЛОДИМИР ЯКИМІВ	
ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМОВАНИХ РАДІОСТАНЦІЙ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ТИПУ «ДРУГ-НЕВІДОМИЙ» ...	127
ЛЕОНІД ГУЛЯНИЦЬКИЙ, МАКСИМ ОГУРЦОВ, ВЯЧЕСЛАВ КОРОЛЬОВ	
ONTOLOGY FRAMEWORK FOR INTERNET OF THINGS SYSTEMS SECURITY MANAGEMENT	133
OLEKSIY KOVALENKO, NATALIA KAREVINA	
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ ПІРИНГОВИХ МЕРЕЖ.....	135
МИХАЙЛО КРЕНЦІН, ЛЕОНІД КУПЕРШТЕЙН, ВАДИМ МАЛИНОВСЬКИЙ	
ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ БАГАТОРОЗРЯДНОЇ ОПЕРАЦІЇ МНОЖЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ФЕРМА ТА МЕРСЕННА У ПАРАЛЕЛЬНІЙ МОДЕЛІ ОБЧИСЛЕНЬ.....	138
АНДРІЙ ТЕРЕЩЕНКО, ВАЛЕРІЙ ЗАДІРАКА	
ЧИ ПОТРІБНА ДЕРЖАВІ ПІДТРИМКА АКАДЕМІЧНОЇ НАУКИ У СФЕРІ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПЕКИ.....	143
ВАСИЛЬ БЕГУН	
РЕАЛІЗАЦІЯ РЕКОНФІГУРОВАНОГО ПРИСТРОЮ НА ПЛІС.....	146
ВОЛОДИМИР ГРИГА, СТЕПАН МЕЛЬНИЧУК, ІРИНА МАНУЛЯК, МИРОСЛАВ ПАВЛЮК, МИХАЙЛО ГУМЕНИЦЬКИЙ, АНДРІЙ ПАВЛИШИН	
SYNTHESIS OF REVERSIBLE CIRCUITS BY GENETIC ALGORITHM WITH MULTICOMPONENT MUTATION	150
TARAS KYRYLIUK, VITALY DEIBUK, SEMEN KYRYLIUK	
IMPROVED SYNTHESIS OF REVERSIBLE CIRCUITS BASED ON THE ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM.....	152
МУКНАЙЛО ПАЛАНУТА, VITALY DEIBUK	
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТОНКОСТІННИХ ОБОЛОНОК, ПОДАТЛИВИХ ДО ЗСУВУ ТА СТИСНЕННЯ, НА ПОШИРЕННЯ ХВИЛЬ У РІДКОМУ НАПОВНЮВАЧІ.....	154
ІРИНА БЕРНАКЕВИЧ, ІРИНА КОЗІЙ	
USING ARCHITECTURES – TRANSFORMERS FOR OBJECT DETECTION IN IMAGE PROCESSING.....	157
ВОНДАН БЛАГІТКО, ДМЫТРО МЫРОНЫУК, ІГОР ЗАЯЧУК	
ЗВАЖЕНА ПСЕВДОІНВЕРСІЯ З ВИРОДЖЕНИМИ ЗНАКОНЕВИЗНАЧЕНИМИ ВАГАМИ.....	159
ВАРЕНЮК НАТАЛІЯ, БІЛОУС МАКСИМ, ТУКАЛЕВСЬКА НЕЛЛЯ	

МОДИФІКАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ РОЗРАХУНКОВОЇ МОДЕЛІ РЕАКТОРНОЇ УСТАНОВКИ ВВЕР-1000. ДЕТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕРМОПАР	165
Василь Бегун, Артур Гашимов	
МЕТОДИ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ХВИЛЬОВИХ ПРОЦЕСІВ У ПЕРІОДИЧНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ...	167
Геннадій Сандраков	
ЕЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНІЧНА ВЗАЄМОДІЯ В ІЗОТРОПНІЙ ПОЛЯРИЗОВНІЙ ПЛАСТИНІ ІЗ ТЕПЛОВИМ ВКЛЮЧЕННЯМ.....	169
Ольга Грицина, Мар'ян Грицина	
АЛЬТЕРНАТИВНІ МОДЕЛІ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ З НЕРЕГУЛЯРНИМ РОЗТАШУВАННЯМ ВУЗЛІВ	171
Петро Гучек, Олег Дудченко, Олена Литвиненко, Світлана Карпова	
ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО НЕЙРОНА В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЇХ ФУНКЦІЙ АКТИВАЦІЇ.....	174
Іван Денков	
SINGULAR INTEGRAL EQUATIONS IN MATHEMATICAL MODELING OF EXCITING A SUPERWIDEBAND ANTENNA.	179
VOLODYMYR O. DOROSHENKO, NADIIA P. STOJNI	
АДАПТИВНА СИСТЕМА ПРИЙОМУ ДАНИХ БІПОЛЯРНИМИ ДИСКРЕТНИМИ СИГНАЛАМИ В ІНФОРМАЦІЙНО – ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМАХ НА ФОНІ АСИМЕТРИЧНИХ НЕГАУСОВИХ ЗАВАД.....	181
Олександр Зорін, Володимир Палагін,	
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ЙОННОЇ ГУСТИНИ В ПРОСТОРОВО-ОБМЕЖЕНИХ МЕТАЛЕВИХ СТРУКТУРАХ	183
Петро Костробій, Ірина Рижа	
ОСОБЛИВОСТІ ПЛАСТИЧНОГО ВІДШАРОВУВАННЯ ТОНКОГО ВКЛЮЧЕННЯ В УМОВАХ АНТИПЛОСКОЇ ДЕФОРМАЦІЇ	185
Василь Кривень, Любов Цимбалюк, Володимир Валяшек, Надія Крива	
АПРОКСИМАЦІЯ ФУНКЦІЙ ДЕЯКИХ КЛАСІВ РЯДАМИ ФУР'Є З ЗАДАНОЮ АБО МАКСИМАЛЬНО МОЖЛИВОЮ ТОЧНІСТЮ.....	190
Лілія Луц	
ДО МОДЕЛЮВАННЯ МІГРАЦІЇ СТУДЕНТІВ.....	193
Олександр Макаренко, Алла Патюха, Євген Самородов, Валентин Завертпний, Вячеслав Осауленко	
THE TASK OF THE OPTIMAL CONTROL OF THE INDUSTRIAL WASTEWATER PROCESSING	196
VADYM MUKHIN, ALLA YAKOVLEVA	
УРАХУВАННЯ НЕОДНОРІДНОСТІ СЕРЕДОВИЩА ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ У РОБОЧІЙ ЗОНІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН.....	198
Юлія Писаренко, Микола Фесенко, Юрій Панасюк,	
ОПТИМАЛЬНІ РЕЖИМИ РОБОТИ ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩ ГАЗУ	202
Мирослав Притула, Назар Притула, Зоя Притула, Ольга Химко	
МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ПОРИСТОГО ШАРУ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ.....	205
П'янило Ярослав, Твардовська Софія,	
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗБОРУ ГАЗУ В ПІДЗЕМНИХ СХОВИЩАХ	209
Ярослав П'янило, Назар Лопух, Ганна Лянце, Галина П'янило	

SOLVING MULTIPARAMETER INVERSE PROBLEMS OF EDDY CURRENT MEASUREMENTS OF ELECTROPHYSICAL PARAMETERS PROFILES OF FLAT OBJECTS USING THE METHOD OF A PRIORI INFORMATION ACCUMULATION ...	213
VOLODYMYR HALCHENKO, RUSLANA TREMBOVETSKA, VOLODYMYR TYCHKOV, NATALIA TYCHKOVA	
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ СТОХАСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГЕНЕРАЦІЇ ШТУЧНИХ ДАНИХ	216
ФАЙНЗІЛЬБЕРГ ЛЕОНІД	
ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС «WODFIL» ДЛЯ АНАЛІЗУ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАСИПНОГО ФІЛЬТРА ВОДИ..	219
ЮРІЙ БІЛУЩАК, ОЛЬГА ЧЕРНУХА, АНАСТАСІЯ ЧУЧВАРА	
ПАРАЛЕЛЬНІ АЛГОРИТМИ ІНТЕРАКТИВНОГО ОЦІНЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ СКЛАДНИХ СИСТЕМ.....	223
МИХАЙЛО ЯДЖАК	
ЗАГАЛЬНА КРАЙОВА ЗАДАЧА ДЛЯ ПОЗДОВЖНИХ КОЛИВАНЬ ШАРНІРНО ЗАКРІПЛЕНОГО СТРИЖНЯ.....	226
Р.М. ТАЦІЙ, О.О. КАРАБИН, О.Ю. ЧМИР, М.І. КУСІЙ	
ПОТОКОВИЙ ШИФР НА ОСНОВІ СІР-КВАЗІГРУП 4-ГО ПОРЯДКУ	227
ВОЛОДИМИР ЛУЖЕЦЬКИЙ, ГАЛИНА КРАЙНІЧУК	
РОЗРОБЛЕННЯ ІНВЕРТОРНОГО СИЛОВОГО БЛОКУ СТАНЦІЇ КАТОДНОГО ЗАХИСТУ ТРУБОПРОВОДУ	231
ІВАН ЛЕВИЦЬКИЙ, ДМИТРО КАБЛАК, ОЛЕНА ЗАМІХОВСЬКА	
ДОСЛІДЖЕННЯ ДІАГНОСТИЧНИХ ОЗНАК ВІБРАЦІЙНОГО СТАНУ ГАЗПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ	235
ОЛЕНА ЗАМІХОВСЬКА, НАТАЛІЯ ІВАНЮК, ВЛАДИСЛАВ БОЙКО, ЛЕОНІД ЗАМІХОВСЬКИЙ	
МЕТОД ОПРАЦЮВАННЯ МОНОЧАСТОТНОГО КОРИСНОГО СИГНАЛУ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ЗАВАД	238
ЮРІЙ СТРИЛЕЦЬКИЙ, НАЗАРІЙ ЯРЕМКО	
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ НА БАЗІ PLC І SCADA	241
МИКОЛА НИКОЛАЙЧУК, ЮРІЙ РІСКОВ	
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОДУЛЬ ОБЛІКУ МАТЕРІАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ERP-СИСТЕМИ “ПЛАЗМІС”	244
ОЛЕГ БІСІКАЛО, ВАЛЕРІЙ СТАРЖИНСЬКИЙ	
STAGES OF DATA ANALYSIS PROCESS TO IMPLEMENTING E-GOVERNMENT PROJECT	248
MOHAMED AL KILANI, VOLODYMYR KOBZIEV	
ДЛЯ НОТАТОК	256

Наукове видання

**"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"**

**матеріали
Міжнародної науково-практичної конференції
6-8 липня 2023 року
Івано-Франківськ**

ISBN 9786178128234

**"INFORMATION TECHNOLOGIES
AND
COMPUTER MODELLING"**

**proceedings
of the International Scientific Conference
2023, July, 6th to 8th
Ivano-Frankivsk**

Науковий редактор: Л.Б. Петришин
Технічний редактор: В.З. Максимець
Коректор: Ю.Ю. Іляш
Комп'ютерна верстка: О.М. Голіней

Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника
76018, Івано-Франківськ, вул. Шевченка, 57,
ПНУ, адміністративний корпус

Формат. Папір офсетний. Ум. Друк арк.
Тираж 150 прим.

Друк: підприємець Голіней О.М.
тел. (0342) 58 04 32

Свідоцтво внесення до державного реєстру
ДК №

Для нотаток

Для нотаток