

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

"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"

**матеріали
міжнародної науково-практичної конференції**

**18-22 травня 2020 року
Івано-Франківськ**

**"INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER MODELLING"
proceedings
of the International Scientific Conference
2020, May, 18th to 22th
Ivano-Frankivsk**

Івано-Франківськ - 2020

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**
AGH University of Science and Technology,
Прикарпатський національний університет

Матеріали статей опубліковані в авторській редакції

"Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання"; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 18-22 травня 2020 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2020. –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 978-617-7468-58-4

© ПНУ ім. В. Стефаніка, автори, 2020

СЕКЦІЯ 1.

**Інформаційні технології в технічних
та системах спеціального призначення**

SECTION 1.

**Information technologies in technical
and special purpose systems**

Визначення Подібності Геопросторових Ліній

Віталій Горелов

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

Determining the Similarity of Geospatial Lines

Vitalii Horielov

dept. of Computer Science
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
vitaliy.goryelov@pnu.edu.ua

Анотація—Розглянуто метод перетворення форми інформації при визначенні подібності ламаних ліній, заданих набором пар координат. Запропоновано перетворення числових значень координат на площині у символічні рядки, які можуть оброблятися без засобів систем управління базами даних.

Abstract—The method of transformation of the form of information for the detection of similarity of polylines given by a set of coordinates is discussed. It is proposed to convert the numeric coordinates to character lines that can be processed without database management systems.

Ключові слова—перетворення форми інформації; подібність геопросторових ліній; трек; тайл.

Keywords—transformation of information form; similarity of geospatial lines; track; tile.

I. ВСТУП

Опис переміщення об'єкта у вигляді послідовності пар довгота-широта у деякій системі координат описують за допомогою ламаних, котрі називають треками. Зазвичай це - xml-файли. Набули широкого поширення формати kml (Google), gpx (Garmin) та інші.

Актуальною є задача знаходження подібних ламаних з поміж деякої множини треків.

У даному випадкові під подібністю мають на увазі не тільки форму треку, а і просторове розташування його вузлів.

У [1] розглянуто метод знаходження подібності треків, що базується на попередній обробці даних і використанні СУБД.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Як і в [1], вихідні дані до задачі: набір із n треків, отриманих попередньо, та $n+1$ -й новий трек. Треки задають наборами пар координат $\{lat_i, lon_i\}$, отриманими із деякою періодичністю у часі, проте середньоквадратичне відхилення інтервалу часу між двома точками – не нульове. Інтервали часу між суміжними точками можуть відрізнятися один від одного у декілька разів.

Координати точок належать множині \mathbb{R} і не відповідають жодній сітці.

Завдання: проаналізувати множину із n наявних треків і знайти серед них такі, що подібні до $n+1$ -го. При цьому теоретично можлива як повна збіжність значень координат вузлів ламаної, котра задає трек, так і часткова збіжність (вузли треків можуть бути більш чи менш віддаленими один від одного в деякому околі). На практиці існування першого випадку навряд чи можливе і він є частинним випадком більш загального - другого. Тому розглянемо випадок часткової подібності треків.

Нижче визначимо, що у роботі мають на увазі під близькістю треків на координатній площині.

Практична реалізація методу визначення подібності треків повинна бути якомога швидшою і придатною до реалізації у режимі реального часу за наявності великої кількості треків (тисячі) та великої кількості вузлів у кожному з треків (потенційно – до 10 тисяч вузлів у кожному з треків).

Також завданням є розробити реалізацію методу без використання СУБД.

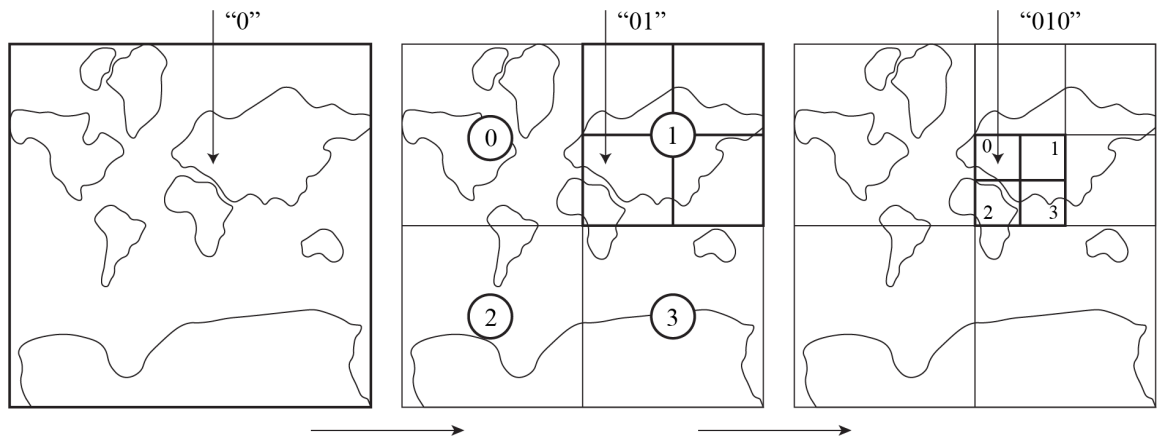


Рис. 1. Метод половинного ділення, застосований до проекції поверхні земної кулі.

III. МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПОДІБНОСТІ ТРЕКІВ

У Google використали для сервісу Google maps підхід, що полягає у поділі проекції земної кулі на невеликі зображення розміром 256 x 256 px [2] (рис. 1). Зараз систему нумерації змінено, що не впливає на розв'язок даної задачі. За цим підходом кожен тайл має свій номер (0-3) у межах тайла, що знаходиться вище в ієрархії. Той, – у свою чергу, – також. Таким чином, повне ім'я складається з послідовності символів. Нехай на 0 рівні ім'я тайла, котрому належить точка – «0». Поділимо на рівні 1 тайл рівня 0 на 4 частини (дві за широтою та дві – за довготою). Утворені тайли отримають імена «0», «1», «2» та «3». Додамо до кожного з них префікс – ім'я тайла, котрий знаходиться вище в ієрархії. Тоді імена тайлів на рівні 1 будуть: «00», «01», «02» та «03». Далі встановлюють належність точки до одного із 4 тайлів рівня 1 і аналогічно ділять його на 4 складових. Процес повторюють, поки буде досягнуто необхідної глибини аналізу. Таким чином, застосувавши таке перетворення до усіх вузлів треку, здійснимо перетворення форми інформації з «довгота-широта» до способу задання координат у вигляді символічних рядків. На рис. 2 наведено приклад двох частково подібних треків (у рядові тайлів одночасно знаходяться вузли як одного, так і другого треків).

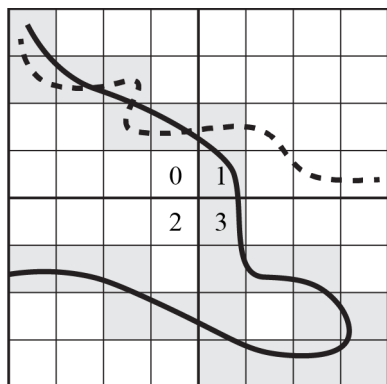


Рис. 2. Приклад часткової подібності треків.

Треки попередньо очищені від петель.

В [1] запропоновано підхід, в якому використовують СУБД, котра містить інформацію про ряди символічних

координат, що описують треки. Пари координат «довгота-широта» перетворені у символічні рядки і записані до таблиць бази даних.

Обернене перетворення веде до втрати точності, проте для даної задачі це не важливо.

У випадках, коли застосування SQL-сервера неможливе, задачу можна вирішити без нього. Розглянемо фрагмент коду (Java):

```

HashSet<String> set = new HashSet<>();
set.add("0000");
set.add("0001");
set.add("0002");
set.add("0003");
HashSet<String> newSet = new HashSet<>();
newSet.add("0000");
newSet.add("0001");
newSet.add("0002");
newSet.add("0003");
HashSet<String> difference = new HashSet<>(set);
difference.addAll(newSet);
difference.removeAll(set);
System.out.println(difference);
Результатом є різниця: [0003].

```

IV. ВИСНОВКИ

Таким чином, легко проітерувати за наявним набором треків, попередньо перетворивши координати з числової форми у символічну, і знайти відсоток координат з набору даних, що співпадають з координатами вузлів трека, що досліджують на подібність без використання сервера баз даних.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

[1] Горелов В.О. Методи ущільнення даних та перетворення форми інформації у комп'ютерних іграх [Текст] // В.О. Горелов, Ю.Ю. Ілляш, В.А. Ровінський / Управління розвитком складних систем. – 2018. – № 35. – С. 93 – 104.

[2] <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/coordinates>

Team Communication Methods in the Project. Remote Work Communication

Sofiia Slupska
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
sophia.slupskaya@gmail.com

Volodymyr Kobziev
Applied Mathematics Department
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
volodymyr.kobziev@nure.ua

Методи Комунікації Команди Проєкту. Віддалена Робоча Комунікація

Софія Слупська
кафедра Прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
sophia.slupskaya@gmail.com

Володимир Кобзєв
кафедра Прикладної математики
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
volodymyr.kobziev@nure.ua

Abstract—This article reveals the concept of communication to the team and reflects the current state of the team in the conditions of remote work. Also in this article the ways of effective communication in the conditions of remote work are resulted.

Keywords—management, team, communication, remote work communication

I. INTRODUCTION

Communication is one of the key moments of social existence in today's world.

Currently, the implementation of complex projects requires the participation of many specialists with different work experience and, sometimes, from different countries. Any difficulties of the project can be solved with established communication between the project participants.

Now there are many ways to communicate between team members. The most common and effective methods are outlined in the article.

II. COMMUNICATION IN THE PROJECT

Communication in a team implies a constant exchange of information on the project between all team members.

Project communications management includes the processes necessary to meet the information needs of the project and its stakeholders through the creation of artifacts and operations designed to ensure the effective exchange of information, as well as to ensure timely and proper planning, collection, creation, distribution, storage, retrieval, management, control, monitoring and ultimately

archiving/disposal of project information. The project communications management consists of two parts.

The first part is the development of a strategy to ensure the effectiveness of communications for stakeholders. The second part includes the implementation of the operations necessary to implement the information support strategy.

The project communications management includes the following processes:

- Communication management planning is the process of developing an appropriate approach and plan for project communication operations based on the information needs of each interested party or group, the available assets of the organization and the needs of the project.
- Communications management is the process of ensuring timely and proper collection, creation, distribution, storage, retrieval, management, monitoring and ultimately archiving / disposal of project information.
- Monitoring communications is the process of ensuring the satisfaction of the needs of the project and its stakeholders in information [1].

When planning communications management, the manager agrees with the team and the customer on the communication methods and their frequency. Based on the planning, a Communications Management Plan is created.

To manage communications, chats, instant messengers, accesses, file storages are set up, meetings are planned, which will further help communication in a team.

Project manager is responsible for all processes.

All communication activities in the project are carried out within the framework of the approved project budget and schedule.

The project manager provides effective communication in the project.

The main types of communication:

- formal (mail, letters, rallies);
- informal (instant messengers, rallies).

Effective communication is based on 3 main principles: openness, transparency and simplicity.

Openness and transparency – it is necessary that all participants are open to dialogue and honest with each other.

Simplicity – it should be convenient and easy for all team members to get in touch, get the necessary information regarding the project, task, documentation, etc.

Communication within the team usually occurs using the selected communication system.

III. REMOTE WORK COMMUNICATION

Today, basically everyone has switched to remote work and, accordingly, only to a remote communication format.

The most common form of communication in remote work is textual. But the text does not convey emotions well. The same phrase can be interpreted in dozens of ways. Misunderstandings, numerous edits, and even conflicts are possible only because one of the employees did not read the letter or understood it wrong. Therefore, it is more efficient to hold small rallies.

The same rules apply to the remote rally as to the usual one: the purpose of the rally, the schedule, the tasks of the participants are clearly defined, the results of the rally must be documented, and the facilitator must have the appropriate skills, etc.

When holding remote meetings, there are some rules:

- At the beginning of the rally, you should ask the remote participants whether they can hear you well, and also check whether you can hear them yourself. Similarly, you need to ask them if they see the material you are demonstrating.
- When discussing a topic, priority should be given to the remote participants, involving them in every possible way in the conversation, as it is often more difficult for them to integrate into the dialogue and ask a question / speak in time.
- Make sure that the discussion does not turn into a “conversation by the board” of only one or two colleagues - in this case you lose both the remote participants and those in the room. In addition, with this development of events, the discussion can easily block the view of the camera aimed at the board.

- For visualization of textual information, it is better to use means of collective editing of documents (for example, Google Docs) and a screen demonstration: the picture is clearer than on the board, and in addition, participants can edit the document together.
- Those who do not speak at the moment should turn off the microphone in order to avoid getting background noise (keyboard sound, colleagues' voices) on the air.
- Not all participants will be ready to turn on the camera - someone is dressed in home clothes, someone in the apartment is a mess, someone just does not like the camera. In this case, do not force people to turn on the video - the rally should be comfortable for everyone.

Ways of effective communication in a remote work environment:

- Attract team members regularly
- Engage remote team members every day with some kind of communication. Use multiple channels for communication. If your forced distribution will be delayed, schedule a regular scheduled face-to-face meeting. Give remote people as much access as possible to you.
- Schedule video calls
- Now it's especially important for you not to lose eye contact. If we do not plan time or talk with each other, hope, face to face, silence becomes very loud and dangerous, since remote workers may ultimately wonder what to do.
- Be careful about overloading chat and email
- This is difficult because, on the one hand, you need to make sure that everyone communicates enough, but on the other, it can be distracting and annoying. Make sure that the team members are not involved in too many channels, and in return receive only those messages that are important to them [2, 3].

IV. CONCLUSIONS

The project manager is responsible for building effective communication in a team in any conditions.

It is necessary to create comfortable communication conditions for the entire team and then the effectiveness of the team will increase regardless of the working conditions.

REFERENCES

- [1] Project Management Institute, “A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) - Sixth Edition”, published by Project Management Institute, 2019, - 756 p.
- [2] How to make remote work in the company effective [Electronic resource] - Access mode: www / URL: <https://dou.ua/lenta/articles/distributed-teams-are-future/>
- [3] How to effectively prepare and conduct a remote rally [Electronic resource] - Access mode: www / URL: <https://dou.ua/lenta/articles/organizing-remote-meeting/>

Методика Багатокритеріального Оцінювання як Інструмент Верифікації Характеристик Якості Програмного Забезпечення

Юлія Безкоровайна
кафедра інженерії програмного забезпечення
Національний авіаційний університет
Київ, Україна
yuliia.bezkorovaina@nau.edu.ua

Multicriteria Estimation Method as a Verification Tool of the Software Quality Characteristics

Yuliia Bezkorovaina
dept. of the Software Engineering
National Aviation University
Kyiv, Ukraine
yuliia.bezkorovaina@nau.edu.ua

Анотація—В роботі розглядається методика для визначення якості програмного забезпечення відповідно до моделі якості міжнародного стандарту ISO/IEC серії 25000. Розглянуто сучасний стан в даному напрямі. Запропоновано альтернативна методика для оцінювання якості програмного забезпечення, а саме методика багатокритеріального оцінювання якості програмного забезпечення на основі моделей якостей відповідно міжнародним стандартам ISO/IEC.

Abstract—The paper examines the techniques for determining the quality of software according to the quality model of the international standard ISO / IEC 25000 series. The current state of affairs in this area was considered. An alternative methodology for evaluating software quality was proposed, namely, a multicriteria software quality assessment method based on quality models by international ISO/IEC standards.

Ключові слова—якість; оцінка; програмне забезпечення; верифікація; стандарти якості; багатокритеріальне оцінювання

Keywords—quality; estimation; software; verification; quality standards; multicriteria estimation

I. ВСТУП

Сьогодні немає такої людини, яка б не користувалася сучасними інформаційними технологіями. Для цього

кожен день розробники випускають нове програмне забезпечення (ПЗ) як для створення іншого ПЗ, так і для пересічних користувачів; воно може різнитися як за типом, так і за призначенням. Найпростіше ПЗ може розробити навіть школяр або людина без великого досвіду і таке ПЗ буде працювати певний час. Проте для подальшого його «розвитку» - воно повинно відповідати певним характеристикам якості. Якщо ПЗ не буде розвиватися відповідно до потреб своїх користувачів та мати дефекти, то таке ПЗ дуже швидко припинить своє існування.

Визначити якісне ПЗ чи ні – доволі не проста задача. Питанню якості ПЗ розглянуті в роботах В. Кулямін, [1], Ю. Грицюк [2] та інші. Науковці всесторонньо досліджують проблеми та намагаються розробити нові методики засоби для підтримки та верифікації якості ПЗ. Наразі не існує сталих та єдиних методів верифікації артефактів ПЗ, тому цей напрям досліджень залишається відкритим.

В роботі [1] розглядаються методи верифікації якості та артефактів ПЗ, наведено класифікацію методів. В залежності від етапу розробки ПЗ артефакти верифікуються різними методами, наприклад, на етапі проектування застосовують формальні методи для перевірки коректності моделей і для такої перевірки розроблені відповідні засоби та інструменти; або на етапі написання коду застосовують

статичний аналіз та сьогодні не існує середовища розробки без вбудованих інструментів аналізу вихідного коду.

В іншій роботі [2] запропоновано засіб для визначення якості ПЗ за допомогою метричного аналізу, що дає змогу за допомогою показників якості розрахувати відповідні метрики і визначити значення комплексного показника якості програмного продукту.

II. МОДЕЛЬ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В даній роботі взята за основу модель якості ПЗ відповідно міжнародним стандартам ISO/IEC серії 25000 SQuaRE [3-6]. В стандартах розглядають наступні моделі якості ПЗ [3]: якість під час використання ПЗ [4], якість ПЗ [5] та даних [6]. Кожна модель визначає характеристики якості та їх підхарактеристики.

Під якістю під час використання [4] розглядають властивості важливі для користувачів ПЗ або їх ще називають зовнішніми. Якість ПЗ [5] або продукту розглядають властивості важливі для розробників ПЗ, їх ще називають внутрішніми характеристиками. А вже під якістю даних [6] розглядають властивості даних з якими працює ПЗ. Всього налічую більше 60 характеристик якості, які необхідно виміряти та оцінити, що збільшує об'єми роботи розробникам.

III. МЕТОДИКА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ

В даній роботі пропонується використовувати як інструмент методика багатокритеріального оцінювання якості, яка була розглянута в роботах [7-10]. Ця методика якнайкраще підходить для описаної моделі якості за стандартами [3-6].

Для розрахунків використовують групування за визначеними факторами, в нашому випадку це будуть типи моделей якості – якість під час використання, якість ПЗ та даних. Далі в методиці використовують поняття критерії та їх значення. В якості критерій будуть характеристики чи підхарактеристи, їх значеннями – значення метрик цих характеристик, які були отримані методами верифікації [1]. Тож в такому випадку можна використати запропоновану методика для отримання оцінки і порівнявши її з шкалою оцінювання можна зробити висновок про якість ПЗ.

ВИСНОВКИ

Запропоновано використовувати методика багатокритеріального оцінювання, щоб прийняти рішення

наскільки якісне ПЗ розроблено. Дана методика була апробована на різних об'єктах дослідження і добре себе зарекомендувала, тому будуть проводитися подальші дослідження в області якості ПЗ з її використанням. Наступним етапом дослідження буде практичне застосування вибраної методики та розробка засобу для верифікації якості ПЗ.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. В. Кулямин, Методы верификации программного обеспечения, Москва: Институт системного программирования РАН, 2008, С. 117.
- [2]. Y. Hrytsiuk and O. Andrushchakevych, "Means for determining software quality by metric analysis methods", in *Scientific Bulletin of UNFU*, vol. 28, no. 6, pp. 159-171, 2018. Available: 10.15421/40280631.
- [3]. ISO. ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-System and software quality models, 2011.
- [4]. ISO. ISO/IEC 25022:2016 Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-Measurement of quality in use, 2015.
- [5]. ISO. ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering-Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE)-Measurement of system and software product quality, 2015.
- [6]. ISO. ISO/IEC 25012:2008 Software engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — Data quality model, 2008.
- [7]. O. Pysarchuk, Y. Bezkorovaina, O. Dyshlevyi and V. Skalova, "THE METHOD OF MULTI-CRITERIA EVALUATING SOFTWARE COMPLIANCE WITH THE CUSTOMER'S REQUIREMENTS", in *Science-based technologies*, vol. 41, no. 1, pp. 3-9, 2019. Available: 10.18372/2310-5461.41.13525.
- [8]. О. Писарчук, «Методика багатокритеріальної оцінки ефективності процесів функціонування та використання складних інформаційних систем», *Защита информации*, Вип. 16, С. 284–289, 2009.
- [9]. Ю. Даник, О. Писарчук, О. Лагодний та О. Випорхонюк «Математична модель багатокритеріального оцінювання ефективності інтернет-сайтів цільового спрямування», *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, Вип. 76, том 1, С. 114-120, 2016.
- [10]. О. Писарчук, К. Соколов, О. Гудима «Розроблення багатокритеріальної методики ситуаційного управління структурою і параметрами системи забезпечення інформаційної безпеки», *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*, Вип. 3, С. 24-32, 2016.

Навігаційна Система Автономного Мобільного Робота на Основі Алгоритму A* (стар)

Олександр Білоконь
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
sasha_bilokon@ukr.net

Mobile Robot Navigation System Based on A*(Star) Algorithm

Oleksandr Bilokon
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
sasha_bilokon@ukr.net

Анотація— В роботі виконано побудову симуляції навігаційної системи автономного мобільного робота на основі алгоритму A* (стар), який здатен вирішити завдання можливої навігації у віртуальному середовищі. Описані особливості алгоритму A* (стар), віртуальної інфраструктури Coppeliasim (VREP), розглянуті особливості інтеграції запропонованого алгоритму в загальну систему керування мобільною робототехнічною системою. Здійснена апробація та реалізація алгоритму у віртуальному середовищі Coppeliasim (VREP), протестовано рух роботизованого візка у віртуальній інфраструктурі на прикладі декількох карт віртуального навколишнього середовища.

Abstract— In this work, we constructed a simulation of the navigation system of an autonomous mobile robot based on the A* (star) algorithm, which can solve the problem of possible navigation in a virtual environment. The features of the A* (star) algorithm, the virtual infrastructure of Coppeliasim (VREP) are described, the features of integrating the proposed algorithm into the overall control system of a mobile robotic system are considered. The algorithm was tested and implemented in the Coppeliasim virtual environment (VREP), the movement of a robotic trolley in a virtual infrastructure was tested using several virtual environment maps as an example.

Ключові слова — Алгоритм A*(стар), Coppeliasim (VREP), автономний мобільний робот, фізичний агент, навігаційна система, віртуальне середовище.

Keywords—A* (star) Algorithm, Coppeliasim (VREP), autonomous mobile robot, physical agent, navigation system, virtual middleware.

I. ВСТУП

Автономний мобільний робот, який має здатність до раціонального пересування із мінімальним втручанням людини це складана задача сьогодення.

Одним із найскладніших питань у забезпеченні автономного керування фізичного агента є навігація.

Для забезпечення руху фізичного агента навігаційна система повинна складатися із наступних технологічних складових: по-перше, вона повинна вміти сприймати навколишнє середовище, тобто зчитувати дані з сенсорів, якими обладнаний фізичний агент, по-друге, фізичний агент повинен вміти визначити місце розташування - іншими словами провести власну локалізацію. По-третє, з метою переміщення до цільового об'єкту мобільному роботу потрібно приймати рішення для того, щоб він зміг переміститися до певної цільової точки або об'єкту задля виконання поставленої задачі, тобто іншими словами, відтворити штучне пізнання і наостанок, з метою відтворення раціональної або оптимальної траєкторії руху фізичному агенту потрібно формувати сигнали для керуючих механізмів, тобто здійснювати управління рухом.

На сьогоднішній день актуалізуються та поширюються дослідження задля реалізації навігаційної системи. Деякі проблеми в цій сфері вже вирішені, а деякі ще потребують наукових рішень. Наприклад, існуючі заздалегідь відомі орієнтири або карта простору при наявності досить точних сенсорів не представляють великих складнощів. А побудова карти при постійно відомому положенні робота також в значній мірі вирішена проблема, але в цьому підході існують ще багато прогалин, які потрібно дослідним шляхом виявити та надати якісні рішення.

Тому в нашому випадку, коли нам відомо постійне положення робота нам потрібно здійснити реалізацію у віртуальному середовищі навігаційної системи. Отже, з метою побудови симуляції навігаційної системи нам потрібно виконати наступні науково-дослідні завдання:

- Здійснити опис особливостей алгоритму A* (стар).

- Описати особливості робо-симулятора CoppeliaSim.
- Здійснити огляд особливостей інтеграції запропонованого алгоритму.
- Провести практичне тестування алгоритму у віртуальному середовищі.

Перед тим, як ми перейдемо до опису особливостей алгоритму A* (стар) нам слід ввести у контекст деяку термінологію:

Алгоритм A* (стар) – пишеться A із зірочкою «A*» вимовляється, як «A-star» це алгоритм обходу графа і пошуку шляху, який часто використовується в інформатиці [1].

CoppeliaSIM (VREP) – Робо-симулятор, раніше мав назву VREP з інтегрованим середовищем розробки заснований на розподіленій архітектурі управління: кожним об'єктом / моделлю можна індивідуально керувати за допомогою вбудованого скрипта, плагіна, вузла ROS або BlueZero, віддаленого клієнта API або спеціального рішення. Це робить CoppeliaSim дуже універсальним та ідеальним для додатків з декількома роботами. Контролери можуть бути написані на C / C ++, Python, Java, Lua, Matlab або Octave [2].

Агент, інтелектуальний агент, фізичний агент, автономний мобільний робот – це пристрій, який реагує на подразники із зовнішнього середовища. Агенти можуть приймати різні види та форми. Наприклад, автономний робот, автономний літак, персонаж в відеогрі, або процес, який взаємодіє з другими процесами через інтернет або локально [3, с. 776].

II. ОСОБЛИВОСТІ A* (СТАР)

Визначена термінологія дозволяє перейти нам до огляду особливостей Алгоритму A* (стар). Цей алгоритм було винайдено дослідниками, що працювали над плануванням шляху робота Шекі. Він був створений в рамках проекту Shakey з метою створення мобільного робота (фізичного агента), котрий міг би планувати свої власні дії. Пітер Харт, Нільс Нільссон та Бертрам Рафаель зі Стенфордського дослідного інституту (зараз SRI International) вперше опублікували алгоритм в 1968 році. Даний алгоритм був розроблений для пошуку шляху з найменшою вартістю. Також було показано, що A* (стар) можливо використовувати для пошуку оптимальних шляхів для різних задач, що задовольняє умовам алгебри витрат [1].

Наразі ми зосередимось на алгоритмі A* (стар). Він один із найпопулярніших алгоритмів для вирішення задач пошуку шляху тому, що він досить гнучкий і може використовуватися в широкому діапазоні контекстів. Цей алгоритм подібний алгоритму Дейкстри в тому сенсі, що його можна використовувати для пошуку найкоротшого шляху. Крім цього він схожий на алгоритми пошуку на графі «Greedy Best-First-Search» в тому сенсі, що він може використовувати евристику для управління собою [4].

Секрет успіху цього алгоритму полягає в тому, що він об'єднує інформацію, яку використовує алгоритм Дейкстри (вважаючи за краще вершини близькі до початкової точки), і інформацію, яку використовує алгоритм «Greedy Best-First-Search» (вважаючи за краще вершини близькі до мети). У стандартній термінології використовуваної при розмові про алгоритм A* (стар), $g(n)$ являє собою точну вартість шляху від початкової точки до будь-якої вершини. Кожен раз проходячи через основний цикл, він перевіряє вершину n , що має найнижчу $f(n)=g(n)+h(n)$.

Отже, провівши огляд історичних відомостей та деяких особливостей алгоритму A* (стар) ми зосередимось на його реалізації – буде запропоновано лістинг цього алгоритму [5].

```

Алгоритм A* (Стар)
function A*(start, goal, f)
# множина пройдених вершин
var closed := the empty set
# множина частинних рішень
var open := make queue(f)
enqueue(open, path(start))
while open is not empty
  var p := remove first(open)
  var x := the last node of p
  if x in closed
    continue
  if x = goal
    return p
  add(closed, x)
  #додаємо суміжні вершини
  foreach y in successors(x)
    enqueue(open, add_to_path(p, y))
return failure

```

Рис. 1. Лістинг 1 Алгоритм A* (стар)

III. ОСОБЛИВОСТІ РОБО-СИМУЛЯТОРА COPPELIASIM

Тепер ми можемо розглянути особливості робо-симулятора CoppeliaSim. Робот-симулятор CoppeliaSim інтегроване середовище розробки заснований на розподіленій архітектурі управління: кожен об'єкт / модель може бути індивідуально керованим за допомогою вбудованого скрипта, плагіна, вузла ROS або BlueZero, віддаленого клієнта API або спеціального рішення. Це робить CoppeliaSim дуже універсальним та ідеальним для додатків з декількома роботами. Контролери можуть бути написані на C / C ++, Python, Java, Lua, Matlab або Octave. CoppeliaSim використовується для швидкої розробки алгоритмів, моделювання автоматизації виробництва, швидкого створення прототипів і верифікації, навчання в галузі робототехніки, дистанційного моніторингу, подвійної перевірки безпеки [2].

Віддалений API

Віддалений API є частиною інфраструктури API CoppeliaSim. Він забезпечує зв'язок між CoppeliaSim і зовнішнім додатком (Додатком – запущеним в іншому процесі або на іншому комп'ютері), є кросплатформним, підтримує виклики служб і забезпечує двосторонню потокову передачу даних. Він поставляється в двох різних версіях / фреймворками:

Віддалений API на основі B0: це являє собою другу версію віддаленого API. Він заснований на проміжному програмному забезпеченні BlueZero і його інтерфейсному плагіні для CoppeliaSim. Він простіше і більш гнучкий у використанні, ніж успадкований віддалений API, і, що

найбільш важливо, його легко розширювати. В даний час він підтримує такі мови: C ++, Java, Python, Matlab і Lua.

Застарілий віддалений API (або просто віддалений API): це перша версія віддаленого API. Він порівняно легкий і має менше залежностей, ніж віддалений API на основі В0. Однак він менш інтуїтивний, менш гнучкий і складніше в розширенні. Він підтримує наступні мови: C / C ++, Java, Python, Matlab, Octave і Lua [6].

Отже, за допомогою робо-симулятора CoppeliaSIM нами буде створено віртуальну інфраструктуру для реалізації алгоритму A* (стар). З'єднання буде здійснено за допомогою віддаленого API.

IV. ОСОБЛИВОСТЕЙ ІНТЕГРАЦІЇ АЛГОРИТМУ.

Тепер нам стає можливо здійснити огляд особливостей інтеграції запропонованого алгоритму з віртуальним середовищем CoppeliaSIM.

В процесі інтеграції запропонованого алгоритму з віртуальним середовищем з метою забезпечення руху фізичного агента навігаційна система складається з наступних блоків:

- Сприймання навколишнього середовища – вона повинна вміти сприймати навколишнє середовище тобто зчитувати дані з сенсорів, якими обладнаний фізичний агент.
- Локалізація – фізичний агент повинен вміти визначити місце розташування.
- Відтворити пізнання зовнішнього середовища – в процесі переміщення мобільному роботу потрібно приймати рішення для того щоб він зміг переміститися до певної цільової точки або об'єкту задля виконання поставленої задачі.
- Управління рухом – з метою відтворення раціональної або оптимальної траєкторії руху фізичному агенту потрібно формувати сигнали для керуючих механізмів, тобто здійснювати управління рухом.

Отже, інтеграція відбувається за допомогою наступного алгоритму та із урахуванням перерахованих вище блоків, які містить навігаційна система [7, 8]:

1. Реалізація підготовчого етапу:
 - 1.1. Імпортуємо фреймворки та бібліотеки, які потрібні для реалізації цього проекту – OpenCV, Numpy, Matplotlib,
 - 1.2. Імпортуємо спеціалізовані пакети для клієнт-серверного з'єднання за допомогою віддаленого API.
2. Сприймання навколишнього середовища:
 - 2.1. Завантажуємо збережене зображення нашої карти або віртуального середовища, в якому ми здійснюємо тестування реалізованого алгоритму.
 - 2.2. Відтворюється сітка перешкод.
3. Локалізація:

- 3.1. Відбувається позиціонування та орієнтація робота у віртуальному середовищі.
- 3.2. Реалізується та відбувається позиціонування цілі.
4. Пізнання зовнішнього середовища:
 - 4.1. Відбувається планування шляху за допомогою алгоритму A* (стар).
5. Управління рухом:
 - 5.1. Згладжування траєкторії,
 - 5.2. Інтегруємо всі алгоритми,
 - 5.3. Відтворюємо допоміжні функції,
 - 5.4. Моделювання віртуального агента.
6. Запускаємо симуляцію – відтворюємо рух віртуального агента.

V. ТЕСТУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.

Після проведення всіх підготовчих робіт та огляду теоретичної складової цього проекту ми можемо перейти саме до практичної частини нашої роботи – запуску нашого віртуального агента та тестування навігаційної системи у віртуальному середовищі.

По-перше, запустим тестування алгоритму на існуючій карті див. Рис. 1.

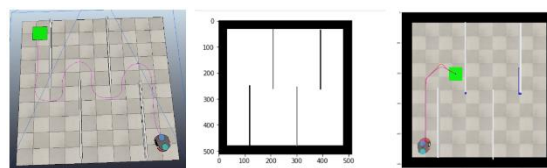


Рис. 2. Віртуальне навколишнє середовище, в якому відбувається тестування алгоритму.

Віртуальний агент у створеному за допомогою симуляції віртуального середовища використовуючи алгоритм чітко зміг переміститись у цільову точку, яка задана зеленим квадратом.

По-друге, на іншій карті, яка побудована у вигляді лабіринту та зображена на Рис. 2. Віртуальний агент теж зміг дістатись до цільової точки, але перед тим, як алгоритм будував траєкторію він (алгоритм) декілька разів зрізав кути лабіринту, що в свою чергу не давало рухатись віртуальному агенту. Але даний недолік міститься не в самому алгоритмі, а у віртуальному середовищі та тих системах, що реалізують локалізацію та зчитування карти навколишнього середовища. Тобто дані системи не завжди вірно розпізнають перешкоди.

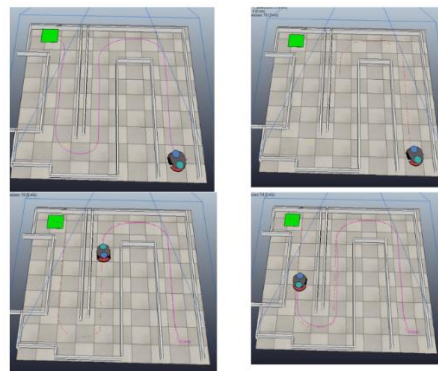


Рис. 3. Віртуальне навколишнє середовище, в якому відбувається тестування алгоритму.

VI. ВИСНОВКИ.

Отже, в процесі побудови симуляції навігаційної системи ми змогли виконати всі науково-дослідні завдання. Здійснюючи опис особливостей алгоритму A* (стар) – нам вдалось дізнатись, що він один із найпопулярніших алгоритмів для вирішення задач пошуку шляху, тому, що він досить гнучкий і може використовуватися в широкому діапазоні контекстів. Цей алгоритм подібний алгоритму Дейкстри. Ми познайомились та дізнались про особливості роботи симулятора CoppeliaSim. Нам вдалось зробити клієнт-серверне з'єднання для реалізації нашого віртуального середовища. Також ми змогли відтворити реалізацію алгоритму та провести огляд особливостей інтеграції запропонованого алгоритму. Крім цього у практичній частині дослідної роботи нам вдалось провести практичне тестування алгоритму у віртуальному середовищі. Нашому віртуальному агенту вдалось подолати маршрут на двох запропонованих картах. Виявили деякі незначні недоліки у віртуальному середовищі та локалізації. Також нам вдалось дізнатись, що алгоритм A* (стар) часто використовується для вирішення загальної проблеми пошуку шляху в різних практичних реалізаціях, таких, як

відеоігри, навігація мобільних роботів. Крім цього цей алгоритм від самого початку було розроблено, як загальний алгоритм обходу графа.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] A* search algorithm [Електронний ресурс] // Wikipedia URL: https://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm (дата звернення 03.05.2020).
- [2] Офіційний веб-портал Coppeliarobotics URL: <https://www.coppeliarobotics.com/> (дата звернення 03.05.2020).
- [3] Брукшир, Дж. Гленн, Брилов, Деннис. Компьютерные науки . Базовый курс, 13-е изд.: Пер. с англ. – СПб.: ООО “Диалектика”, 2019. – 1104с. : ил. – Парл. Тит. англ.
- [4] Amit's A* Pages From Red Blob Games URL: <http://theory.stanford.edu/~amitp/GameProgramming/AStarComparison.html> (дата звернення 03.05.2020).
- [5] A* [Электронный ресурс] // Wikipedia URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/A* (дата звернення 03.05.2020).
- [6] Офіційний веб-портал Coppeliarobotics // Remote API URL: <https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/en/remoteApiOverview.htm> (дата звернення 03.05.2020).
- [7] Ahmed Essam El Fakharany Path tracking tutorial for pioneer robot in vrep [Електронний ресурс] URL: <https://medium.com/@afakharany93/path-tracking-tutorial-for-pioneer-robot-in-vrep-acffcf76875b> (дата звернення 03.05.2020).
- [8] Github Path_tracking_vrep URL: https://github.com/afakharany93/path_tracking_vrep (дата звернення 03.05.2020).

Участь Безпілотних Літальних Апаратів та Геоінформаційних Систем при Прорахунку Транспортних Систем Великих Міст (на Прикладі Міста Києва)

Юрій Шепетука
Міжнародний науково-
навчальний центр
інформаційних технологій та
систем НАН та МОН України
Київ, Україна
dep185@irtc.org.ua

Сергій Бондар
Міжнародний науково-
навчальний центр
інформаційних технологій та
систем НАН та МОН України
Київ, Україна
orangearrows@bigmir.net

Роман Тимчишин
Міжнародний науково-
навчальний центр
інформаційних технологій та
систем НАН та МОН України
Київ, Україна
romantymchyshyn.rt@gmail.com

Participation of Unmanned Aerial Vehicles and Geoinformation Systems in the Large City Transport Systems Determination (on the Example of Kyiv)

Yury Schepetukha
International Research and
Training Center for Information
Technologies and Systems of the
National Academy of Sciences
(NAS) of Ukraine and Ministry of
Education and Science (MES) of
Ukraine
dep185@irtc.org.ua

Serhii Bondar,
International Research and
Training Center for Information
Technologies and Systems of the
National Academy of Sciences
(NAS) of Ukraine and Ministry of
Education and Science (MES) of
Ukraine
orangearrows@bigmir.net

Roman Tymchishin,
International Research and
Training Center for Information
Technologies and Systems of the
National Academy of Sciences
(NAS) of Ukraine and Ministry of
Education and Science (MES) of
Ukraine
romantymchyshyn.rt@gmail.com

Анотація. В роботі розглянуто використання геоінформаційних систем для моделювання функціонування міст, інфраструктурних об'єктів, системи громадського транспорту та екстрених служб. Сутність роботи полягає в обґрунтуванні використання геоінформаційних систем як базового елемента міського планування, що забезпечить більш ефективний розвиток міста, як у короткочасній, так і у довготривалій перспективі.

Зокрема, для забезпечення функціонування геоінформаційних систем пропонується використання безпілотних літальних апаратів, що слугуватимуть ключовим елементом збору даних і, як наслідок, допоможуть регулярно оновлювати інформацію щодо поточної ситуації в місті.

Annotation. Usage of the geoinformation systems for modelling of city infrastructure objects, public transport system and emergency services functioning is considered in the development. The essence of the development is in the justification of the geoinformational systems usage, as the basic element of the city

planning processes, that would make possible much more effective city development in short-run perspective, as in long-run one.

Particularly, for the geoinformation system functioning support, the usage of unmanned aerial vehicles as the key element of data gathering is proposed. Utilization of such vehicles would help to update information about current situation in the city regularly.

Ключові слова: транспортна стратегія міста; динамічна транспортна модель; геоінформаційна система; безпілотний літальний апарат; диспетчеризація; моніторинг; інформаційна підтримка спецтранспортів

Keywords: city transport strategy; dynamic transport model; geoinformation system; unmanned aerial vehicle; dispatching; monitoring; information support of special vehicles

I. ВСТУП

Реалізація принципів створення транспортної стратегії сьогодні стала нагальною необхідністю для великих міст. Спроба реалізації принципів стратегічного планування для створення транспортної стратегії була здійснена і в Україні.

Перед моделюванням потрібно виділити цілі і термін реалізації майбутнього проекту, від чого буде залежати використання вірного типу транспортної моделі – статичної, або динамічної. Переваги статичної транспортної моделі зводяться до менших витрат на організацію збору даних та стислості подачі зібраних даних. Така модель відображає дані станом на певну дату та робить можливим моделювання перспективних рішень, що були б ефективними на дату збору даних. Використання статичної моделі допомагає у переробці генерального плану міста; дозволяє визначити шляхи для найбільш комфортабельного розвитку його районів; дає можливість позначити райони, що потребують вводу нових транспортних маршрутів; допомагає впорядкувати забудову в межах міста.

Динамічна транспортна модель міста характеризується регулярним збором даних щодо завантаженості автошляхів, напрямків пасажиропотоків, кількості пасажирів рухомого складу на певну одиницю часу. Динамічна модель дозволить швидко реагувати на появу нових проблем, а також оперативно прогнозувати ситуації у місті у короткочасній перспективі (декілька годин).

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Важливою передумовою доцільності створення комп'ютерно-комунікаційної системи для виконання вищенаведених функцій є те, що така система може бути реалізована в якості доповнення до однієї з існуючих платформ спостереження за громадським транспортом.

Проектування транспортних систем за допомогою попередньо прорахованої моделі та базової стратегії неодноразово довели свою перевагу перед транспортними системами, що не використовували повноцінні транспортні моделі та розвивалися, реагуючи на розбудову міста.

Транспортна модель – це програмно-апаратний комплекс, що інтегрує бази даних і розрахункові блоки у єдину систему, призначену для обчислення транспортних потоків. Створення ефективної моделі ґрунтується на належному врахуванні як транспортного попиту, так і транспортної пропозиції [1].

Транспортна модель може бути використана для виконання задач диспетчеризації, моніторингу виходу з ладу рухомого складу, розрахунку розташування зупинок громадського транспорту, а також завдань, що не зв'язані з системою міського пасажирського транспорту, наприклад, в якості засобу інформаційної підтримки спецтранспорту служб швидкого реагування або служб доставки. В якості прикладу, представлена транспортна стратегія та транспортні моделі компанії «А+С Україна», зроблені для міста Києва протягом 2015-2020 років [2].

Використання безпілотних літальних апаратів підвищить функціональність геоінформаційних систем, збільшить кількість оцінюваних параметрів, а також регулярність збору даних, що позитивно посприє розвитку міста.

Доцільність використання такої нової транспортної моделі підтверджується тим фактом, що стара статична модель може слугувати базою для прорахунку стратегії розвитку міста, але не враховує повсякденні зміни в його життєдіяльності, що, на сьогодні, може серйозно впливати на кінцевий результат моделювання.

На основі отриманої за допомогою безпілотних літальних апаратів інформації може бути здійснений ґрунтовний аналіз та знайдені шляхи вирішення існуючих проблем міста. Основні функції, які можуть бути реалізовані на цьому етапі:

- аналіз транспортного навантаження та планування найбільш доцільних маршрутів;
- базова диспетчеризація руху (включаючи узгодження розкладу певного виду рухомого складу з розкладом інших його видів, організація пересадок);
- поточна диспетчеризація з урахуванням інформації про наявні умови дорожнього руху (попередження про утворення перешкод, організація об'їздів, корекція даних про час відправлення та прибуття);
- визначення необхідності проведення поточного та капітального ремонту рухомого складу;
- екологічна оцінка роботи системи громадського транспорту в цілому та певних його видів;
- підготовка та систематизація звітності щодо затримок руху, дорожньо-транспортних пригод, виходу з ладу рухомого складу та інше.

III. ВИСНОВКИ

Використання геоінформаційних систем для збору даних, щодо функціонування міста та подальшого створення транспортних моделей вже давно довело свою необхідність для ефективного розвитку міста. Частота оновлення даних цієї системи позитивно вплине на точність розрахунку доцільності вводу нового транспортного маршруту або інфраструктурного об'єкту. Безпілотні літальні апарати можуть якісно підвищити точність таких моделей та забезпечити регулярне оновлення інформації, універсалізувати шлях зберігання даних та ефективній роботі транспортної системи міста, а також підвищити швидкість реагування екстрених служб.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Беспалов Д.О. “Основні принципи створення транспортної моделі міста” [Електронний ресурс] Available: <https://bespalov.me/2015/10/07/osnovni-prynzyry-stvorennya-transportnoi-modeli-mista/>
- [2]. Беспалов Д. О. 3 вопроса о транспортной модели Киева: что сделано? как сделано? что дальше? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: Available: <https://bespalov.me/2015/04/07/3-voprosa-o-transportnoj-modeli-kieva/>

Recommendation System for Audiobook Service

Mykhailo Borodin

Department of Artificial Intelligence Systems

Lviv Polytechnic National University

Lviv, Ukraine

mykhailo.borodin@lpnu.edu.ua

Система Рекомендацій для Сервісу Аудіокниг

Михайло Бородин

Кафедра систем штучного інтелекту

Національний університет “Львівська політехніка”

Львів, Україна

mykhailo.borodin@lpnu.edu.ua

Abstract — In this article the architecture of the recommendation engine is briefly described. That is part of audiobook streaming service. Today mobile app users expect services to deliver personalized content just for them and with minimum waiting time. However while multiple major companies implement such recommendation engines there's still a lack of resources that would make it easier to setup simple but efficient recommendation service for small-to-medium size projects.

Анотація — У цій статті коротко описана архітектура системи рекомендацій. Це частина сервісу аудіокниг. Сьогодні користувачі мобільних додатків очікують, що послуги надаватимуть персоналізований вміст саме для них та з мінімальним часом очікування. Однак, хоча багато великих компаній впроваджують такі механізми рекомендацій, все ще не вистачає ресурсів, що полегшить налаштування простого, але ефективного сервісу рекомендацій для проектів малого та середнього розміру.

Keywords — *recommendation engine, audiobook, mobile app, association rules, backend.*

Ключові слова — *система рекомендацій, аудіокнига, мобільний застосунок, асоціативні правила, сервер.*

I. INTRODUCTION

Today personalized recommendations are not only a nice to have feature for any app but also an expectation from the end user. On the other hand, users want mobile apps to load fast enough. Current maximum acceptable latency considered to be equal 3 seconds with recommended latency 300ms [1].

Data mining differs from traditional statistics in that formal statistical inference is assumption-driven in the sense that hypothesis is formed and validated against data. Data mining, in contrast, is discovery-driven in the sense that patterns and hypotheses are automatically extracted from data [1].

The processing of various data types was carried out by researchers starting from the 70s of the XX century. Since then models and metalanguages for handling different types of data have been developed. However, existing models and methods today relate only to pre-known data types (mostly

relational databases or XML data), or solve only partial tasks of processing different types of data - for example, indexing to improve search speed. But NoSQL databases and availability of mostly semistructural information require different approaches and tools for data processing [1].

Collaborative filtering (CF) is the most successful and most applied technique in the design of recommendation systems where some items to an active user are recommended based on the past records from like-minded users. Unfortunately, CF may lead to the poor recommendation when user ratings on items are very sparse in comparison with the huge number of users and items in the user-item matrix.

To overcome this problem, this research applies the users' implicit interaction records with items to efficiently process massive data by employing association rules mining. It captures the multiple purchases per transaction in association rules, rather than just counting total purchases made. To do this, a modified preprocessing is implemented to discover similar interest patterns among users based on multiple purchases done. Currently there are both proprietary as well as open source ones. Some of them are intended for self-hosting and tweaks while others require minimum integration serving on software as a service basis (SaaS). The problem with the latter is usually referred to as “Vendor Lock-In”.

II. Comparison of available solutions

A. First, if a developer makes a decision to choose a particular solution it could be difficult to switch to another one. Second, this approach often requires compromises on data security. Often developers have to either handle their data to third parties or give other systems access to request data on demand from the data source on premises. Here's a list of several available solutions.

B. The Universal Recommender is built on the modern Correlated Cross-Occurrence Algorithm that uses many indicators of the user's taste, and so can target most use cases. Source is available on GitHub repository which is active and commercially supported. In order to be integrated this solution requires to be self-hosted.

C. Seldon is a Java based prediction engine built on Apache Spark technology. For demonstration purposes it provides an example of movie recommendation service. In order to be integrated this solution requires to be self-hosted.

D. Raccoon Recommendation Engine is an open source Node.js implementation based on collaborative filtering that uses Redis as a store for latency optimization.

III. PROPOSED SYSTEM ARCHITECTURE

A. Data acquisition

In order to develop a recommendation system we would need to have the following data in place.

- Books along with their metadata. Structure of data may vary depending on publisher. In common every book is expected to have a title, an author and a collection of contents which should be in a standard format. Dynamic of this dataset is very low as a book once written almost never can be changed.
- Users. Dataset that contains personal genre preferences of users. Every user is asked to select his or her preferences before using the service so we can be sure that this dataset is structured enough for our purposes. As genre preferences rarely change for any individual user we also can be sure this part does not need a high speed optimization.
- Activity. History of all users' activity against a set of books. This dataset is the biggest in volume compared to the previous two. Activity data has the highest dynamic of these three datasets, because user behavior is very dynamic by its nature.

IV. COMPONENTS OF THE SYSTEM

When displayed on the diagrams the system structure looks like the following (Fig. 1)..

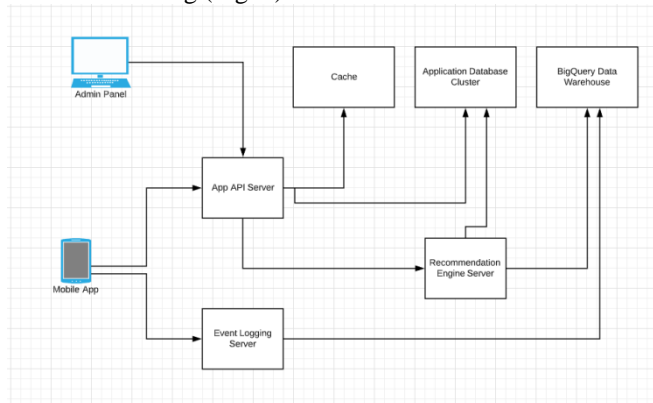


Fig. 1. Components of the system

If we would decide to show it as a deployment diagram implementation could be as follows (Fig. 2).

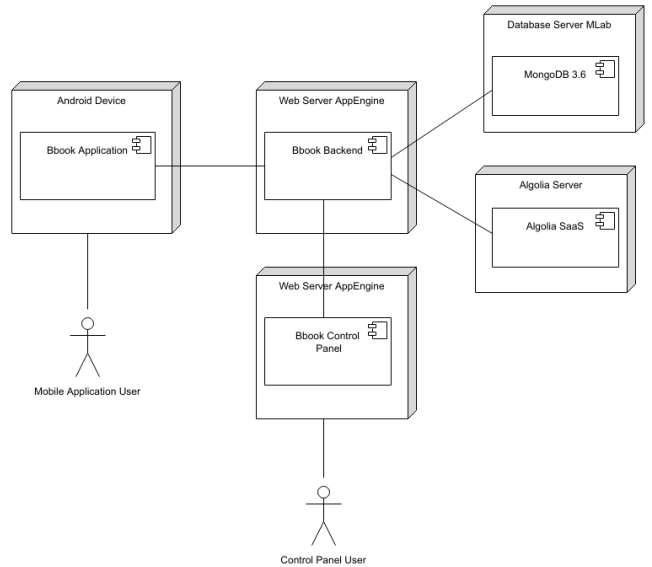


Fig. 2. Implementation, UML deployment diagram

II. PROPOSED METHOD

A. Association Rules

Many existing data analysis methods are not suitable for Big data because

- the data volume is extremely large,
- we don't know type of data,
- according to its structure and because of to various data sources, the data are uncleaned, there are many deviations and outliers,
- it is required to use parallel processing of data [2].

The Association Rules (AR) is proposed to use for frequent data pattern finding. Association rule learning is a rule-based machine learning method for discovering interesting relations between variables in large databases. It is intended to identify strong rules discovered in databases using some measures of interestingness. In contrast with sequence mining, association rule learning typically does not consider the order of items either within a transaction or across transactions. Association rules are set of special rules that allow you to find and describe conformities in large sets of data [3].

Basic concepts of associative rules are called subject set and transaction. A subject set is a non-empty set of elements that can be part of a transaction:

$$I = \{i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n\},$$

where i_k is elements included in the subject sets, $k = 1..n$, n is the number of elements of the set I . The transaction represents a certain set that has some elements of the set I that occur together. The transaction also has a unique identifier (Transaction ID) [4]. There is a certain set of transactions in the dataset:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_m\},$$

where t_i is relevant transaction, m is the total number of transactions made. Between the elements of transactions, you can set the patterns in the form of associative rules, consisting of two sets of objects: $X = \{j_k^i \mid j_k \in I\}$, that is named a condition while

$Y = \{j_k | j_k \in I\}$, that is called a consequence. An associative rule describes the relationship between sets of objects that are conditional and consequential and recorded $X \rightarrow Y$. In this case, the sets X and Y must not intersect: $X \cap Y = \emptyset$. The main indicators of the relevance of the associative rule are support and confidence [5].

Let have a set X and an associative rule $X \rightarrow Y$. The setup support for X will be:

$$Supp(X) = \frac{|X(t)|}{|T|},$$

where

$$X(t) = \{t \in T | X \in t\}.$$

The concepts of set support and associative rule is closely related to another characteristic of an associative rule, the confidence, which is calculated as the ratio of the support of the set, which has both a condition and a consequence (in other words, it is the support of the associative rule), to support the set which has only a condition [6].

$$\begin{aligned} conf(X \rightarrow Y) &= \frac{Supp(X \rightarrow Y)}{Supp(X)} = \\ &= \frac{\frac{|X(t) \cap Y(t)|}{|T|}}{\frac{|X(t)|}{|T|}} = \frac{|X(t) \cap Y(t)|}{|X(t)|} \end{aligned}$$

To determine the significance of the rules, there are used threshold values of minimum support and authenticity of MinSupp and MinConf, that is usually determined by the users of the system or experts, being base on own experience:

$$Supp(X \rightarrow Y) \geq MinSupp;$$

$$Conf(X \rightarrow Y) \geq MinConf.$$

AR are usually required to satisfy a user-specified minimum support and a user-specified minimum confidence at the same time [7]. Association rules are usually generated in two separate steps:

1. Minimum support threshold is used to find frequent itemsets in a dataset of items.
2. Minimum confidence is used against generated frequent itemsets in order to form rules.

While the second step is straightforward, the first step requires more attention [8]. Generation of all frequent itemsets of a database is difficult as it involves searching all possible itemsets (combinations of items). The set of possible item sets is the power set and has size of 2^{n-1} (excluding the empty set which is not a valid item set) [9].

Although the size of the power-set grows exponentially in the number of items n in I , efficient search is possible using the downward-closure property of support which guarantees that for a frequent itemset, all its subsets are also frequent and so no infrequent itemset can be a subset of a frequent itemset

[10]. Using this property, efficient algorithms (e.g., Apriori and Eclat) can find all frequent itemsets [11].

The Apriori algorithm has major problems with large volumes of big data, since it scans the entire database several times [12]. This means that the execution time is increased according to the number of transactions. Spark and hierarchical method can be used for formulating rules to improve the Apriori algorithm [13].

B. Latency optimization

Second problem that arises is to ensure low latency and high availability of the service. The first is easily solved with precomputation of results. Precomputation method allows to generate recommendation sets for each of users or group of users in advance. The clustering, particularly k-means algorithms, is proposed to be used for precomputing. Then generated results are stored in an optimized for read operations database. This brings us to comparison of available databases that work well for our purposes.

Redis is one of well known databases that could be optimized for fast read operations. It's achieved with the help of in-memory storage [14]. But on the other hand it's a very expensive resource and each hour of Redis running instance would cost a considerable amount of money.

Second, the widely used MongoDB database. This one is much more affordable and still could be very fast if properly designed [15]. Because it's a non-relational database considerable effort is needed for developers who worked only with SQL-style queries.

Third, one of modern cloud-based database solutions from Google — BigQuery [16]. This approach benefits from using standard SQL while organizing datasets in a NoSQL way. It supports date based sharing of the dataset as well as batched and streamed inserts. First type is more optimized for big data batches that should be loaded atomically. Latter is more expensive in terms of resources but can be used for critical data updates. This drastically improves capabilities of storing large volumes of data while offering an acceptable response time to the end user.

This allows for very fast response times from the server. High availability is usually achieved with the help of resource reservation. This means a certain redundancy level of hardware resources to ensure that the system continues to function if outage happens.

III. RESULTS

So as result we do get the data from a dataset that was populated for the past year and has 10000 data entries. Activity dataset is stored as a BigQuery table and uses sharding. This helps to improve high availability and failure tolerance as sharded tables are not coupled to each other. Tables store at least 10000 records each and thanks to sharding read operations are processed within seconds, even on large volumes of data. Over this data set the recommendation system is run on defined intervals. Using association rules method we can generate personalized recommendations.

Latency optimization allows us to handle big amounts of users while saving computing resources. It's intended to be deployed to cloud-based infrastructure able to handle at least 1000 requests per second under load balancing. Availability is provided by major market players such as Google should

be enough to ensure at least 99.99% percent of the uptime. Despite further research will be needed to ensure capabilities during high load, on small and medium size datasets the system should work within a defined time frame of 300 milliseconds.

CONCLUSIONS

Let's summarize what was achieved at the end of the research. While there are available solutions for recommendation systems that are easy to integrate some of them require compromises on functionality and security. Proposed method helps us implement such a recommendation system without making mentioned compromises. It allows for both personalized recommendations and acceptable performance. Mentioned cloud resources needed for development, are free for personal use or often offer a trial period, so it should suffice for individual developers implementing described system. The resulting recommendation system is a solution that could be easily integrated or modified thanks to its modular architecture.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Najafabadi, M. K., Mahrin, M. N. R., Chuprat, S., & Sarkan, H. M. (2017). Improving the accuracy of collaborative filtering recommendations using clustering and association rules mining on implicit data. *Computers in Human Behavior*, 67, 113-128.
- [2]. N. Schahovska, "Datawarehouse and dataspace – information base of decision support system," in Proceedings of the IEEE 11th International Conference on CAD Systems in Microelectronics (CADSM'2011), 2011.
- [3]. Shakhovska, N., Kaminsky, R., Zasoba, E., & Tsiutsiura, M. (2018). Association rules mining in big data. *International Journal of Computing*, 17(1), 25-32.
- [4]. N. Shakhovska, M. Medykovsky, P. Stakhiv, "Application of algorithms of classification for uncertainty reduction," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 89, no. 4, pp. 284-286, 2013.
- [5]. Khurana, K., & Sharma, S. (2013). A comparative analysis of association rule mining algorithms. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5), 0.
- [6]. Hunyadi D. (2011) Performance comparison of Apriori and FP-Growth algorithms in generating association rules. *European Computing Conference*, 376-381.
- [7]. K. Khurana, and S. Sharma, "A comparative analysis of association rule mining algorithms," *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 3, issue 5, May 2013.
- [8]. E. Hüllermeier, "Association rules for expressing gradual dependencies," in *Principles of Data Mining and Knowledge Discovery*, Springer, Berlin: Heidelberg, pp. 200–211, 2002.
- [9]. M. J. Zaki, "Scalable algorithms for association mining," *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 12, issue 3, pp. 372-390, 2000.
- [10]. R. Porkodi, B.L Shivakumar, "An improved association rule mining technique for xml data using Xquery and Apriori algorithm," pp. 1510-1514, March 2009.
- [11]. S. Rao, P. Gupta, "Implementing improved algorithm over Apriori data mining association rule algorithm", *IJCST*, vol. 3, pp. 489-493, 2012.
- [12]. J. Woo, "Apriori-Map/Reduce algorithm," in *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA)*, 2012, pp. 1.
- [13]. D. Hunyadi, "Performance comparison of Apriori and FP-Growth algorithms in generating association rules," in *Proceedings of the European Computing Conference*, 2011, pp. 376-381.
- [14]. Liu, Q., & Yuan, H. (2019). A High Performance Memory Key-Value Database Based on Redis. *JCP*, 14(3), 170-183.
- [15]. Bradshaw, S., Brazil, E., & Chodorow, K. (2019). *MongoDB: The Definitive Guide: Powerful and Scalable Data Storage*. O'Reilly Media.
- [16]. Lopez, G., Seaton, D. T., Ang, A., Tingley, D., & Chuang, I. (2017, April). Google BigQuery for education: Framework for parsing and analyzing edX MOOC data. In *Proceedings of the Fourth (2017) ACM Conference on Learning@ Scale* (pp. 181-184).

Про Комп'ютерні Методи Діагностики, Ведення і Підтримки Повторного Лікування Залежних (Адиктивних) Пацієнтів

Іван Варава

каф. АПЕПС, теплоенергетичний факультет
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
ivan.varava@ukr.net

Валерій Писаренко

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

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 ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
oollyy55@ukr.net

About Computer Methods of Diagnostics, Maintenance and Use of Repeated Operations of the Remaining (Addictive) Users

Ivan Varava

cat. Automation of Design of Energy Processes and Systems
Heat Power Engineer Faculty
National Technical University of Ukraine
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
ivan.varava@ukr.net

Valeriy Pysarenko

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

Julia Pisarenko

lab. №236 of Virtual Environment Systems for
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
oollyy55@ukr.net

Анотація—Розглядається питання розробки структури баз знань нейромоделей базових когнітивних функцій головного мозку людини та виявлення закономірностей функціонування структурних елементів нейросистеми. Досліджувався біологічний зворотній зв'язок (biofeedback) і нейро-зворотній зв'язок у пацієнтів певних типів.

Abstract—The paper deals with the development of the knowledge bases structure of the human brain basic cognitive

functions neuromodels and the identification of appropriate complex patterns of neurosystem structural elements functioning to ensure their proper treatment or effective maintenance in a healthy state. Biological feedback and neuro-feedback studies were conducted in dependent patients.

Ключові слова—нейромоделі; електроенцефалограма (ЕЕГ); біологічний зворотній зв'язок; адиктивність

Keywords— *neuromodels; electroencephalogram; bio feedback; addiction*

I. ВСТУП

При збільшенні числа залежних людей у всьому світі є актуальними пропонувані в роботі сучасні комп'ютерні методи діагностики, лікування і підтримки повторного лікування залежних (адиктивних) пацієнтів, а також пацієнтів, які страждають захворюваннями центральної нервової системи (ЦНС).

Колективом авторів проводилися дослідження біологічного зворотного зв'язку і нейро-зворотного зв'язку у залежних пацієнтів з метою:

- 1) поліпшення якості терапії;
- 2) збільшення часу стабільного здорового стану пацієнту;
- 3) зменшення кількості залежних людей;
- 4) збільшення числа здорових людей.

II. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТІВ

Дослідження за вказаною темою досить об'ємні та налічують декілька стадій. При цьому паралельно ведуться роботи як теоретичного, так і експериментального характеру. Відділ № 265 Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України (ІК НАНУ) має значний доробок в області теоретичних досліджень з математичного моделювання роботи мозку людини [1]. Зокрема, отримала розвитку авторська математична модель нейронної активності живої нейромережі [2], [3]. Також на основі обробки даних, отриманих діагностичною апаратурою і вивченням стану здоров'я пацієнтів, проводиться розробка відповідної математичної процедури «Procedure Brain Similarity», що стосується виявлення кореляцій ступеню зв'язку базових параметрів життєдіяльності людини. Це дозволить ідентифікувати ознаки певної подібності симптомів обстежуваного адиктивного пацієнта до однієї з базових груп адиктивних пацієнтів, які оглянуто та лікувалися раніше. Для зберігання таких даних колективом авторів розробляється спеціальна база даних «Addict BCS», як інформаційна основа для структуризації виявлених взаємозв'язків. Попередньо, згідно з планом робіт за темою, було проведено дослідження існуючих залежностей для задач структуризації та виявлення найбільш типових залежностей та відповідних базових груп адиктивних пацієнтів.

З метою наповнення вказаної спеціальної бази даних використовується значний досвід співпраці ІК НАНУ з Клінікою терапії особливих станів «АТОС», м. Київ (науковий керівник Пакін Ю.В., експерт Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), д.м.н., проф.) та Національним університетом фізичного виховання і спорту України (м. Київ). Зокрема на обладнанні Клініки «АТОС» автори проводили роботи по реєстрації фізіологічних параметрів активності електроенцефалографічних (ЕЕГ) функцій головного мозку (ФП-ЕЕГ) досвідченого майстра Ю.В. східних єдиноборств в різних станах (читання тексту,

читання тексту в розумі, релаксація, нагрів сфери, мантра, дихання). В експериментах було використано апарат «Nexus-10 Mark II» (виробництво компанії Mindmedia, Нідерланди). Це прилад для 10-канального моніторингу різних фізіологічних параметрів організму людини і біологічного зворотного зв'язку (biofeedback), з використанням бездротової технології Bluetooth (10-15 метрів дистанція від датчиків на пацієнті до комп'ютеру лікаря (рис.1) та карти пам'яті Memory Flash (24-годинний моніторинг визначених параметрів організму) з автономним живленням від акумуляторних батарей). Апарат дозволяє здійснювати не тільки повну функціональну діагностику організму, але і комп'ютерну біорегуляцію різних функціональних систем організму на основі візуального та звукового біологічного зворотного зв'язку за стандартними параметрами електроенцефалограм (ЕЕГ), електроміографія (ЕМГ), електрокардіограм (ЕКГ), спірографія (СПГ), пульсового кровонаповнення судин, термометрії шкіри і шкірного опору.



Рис. 1. Робочий момент досліджень – зняття показників ЕЕГ у пацієнтки Клініки АТОС.

Тривалість вимірювання параметрів в різних станах при проведенню в дослідженні тестуванні показників показано на рис.2.

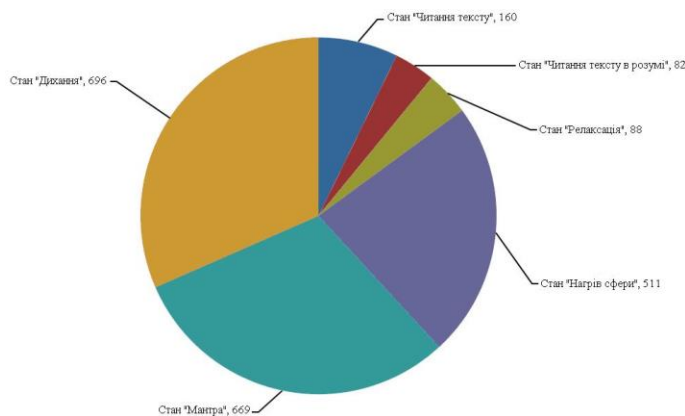


Рис. 2. Тривалість вимірювання параметрів в різних станах майстра Ю.В. (назва стану, тривалість у сек.)

В таблиці 1 Наведено типові параметри реалізації дослідження, а саме вимірювання ФП-ЕЕГ майстра Ю.В. при знаходженні його в одному зі станів.

ТАБЛИЦЯ І. ЗАГАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ВИМІРЮВАННЯ ФП-ЕЕГ МАЙСТРА Ю.В. ДЛЯ ТЕСТУ «ЧИТАННЯ ТЕКСТУ»

Дата проведення :	15-02
Час проведення :	12:08:09
Тривалість вимірювання:	160 сек.
Швидкість виводу замірів:	256 зразків/сек.

III. ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В міру наповнення бази даних новими результатами експериментів планується проведення наступних етапів розроблення теми:

1. Застосування розробленого математичного апарату для виявлення кореляційних зв'язків між приладовими даними: ЕЕГ, ЕКГ, альфа-, бета-тета-ритми активності головного мозку, ритміка дихання, температури кінчиків пальців, чутливість шкіри і інше. Тобто тих показників, які несуть інформацію про характер і глибину адиктивності пацієнта.
2. Комп'ютерна обробка даних моніторингу з п.1 для уточненої діагностики та вибору найбільш ефективних методик лікування залежності у даного пацієнта.
3. Використання методів, задіяних у п.п.1, 2 для досліджень, що стосуються життєдіяльності здорової людини в різних сферах, зокрема:
 - Вивчення екстремальних станів людини, які супроводжуються статистично помітною зміною об'єктивних (кількісних та якісних) показників її життєдіяльності;
 - Дослідження проявів збільшення когнітивних функцій людини;
 - Дослідження шляхів збільшення енергетичних характеристик діяльності організму (зокрема за рахунок вольових та «надлюдських» станів психіки в статичному та екстремальному динамічному стану людини), – наприклад, в бойових мистецтвах (техніка «безконтактного удару»);
 - Дослідження релаксаційних станів людини з метою оптимізації технік ефективного відновлення енергетичного стану

спортсмена після екстремальних навантажень, (так званий «пост екстремальний» стан організму).

Тематика п.3 запланованих досліджень спрямована на завдання розробки методів збереження здоров'я та гармонізації стану людини за рахунок введення технології «балансу обмежень і навантажень». Зокрема, це важливо для застосування у сфері спорту великих досягнень, коли тренувальний процес супроводжується значними навантаженнями. При цьому тільки надвисокий професіоналізм тренера може запобігти майже неминучим в цій області фізичним та психічним травмам.

Серед наукових планів є питання виявлення механізму запам'ятовування і відтворення умовних рефлексів. Вже розроблені та заплановані до розробки нові технології та методики вивчення функціонування мозку людини будуть сприяти вирішенню цих майбутніх завдань.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В. Г. Писаренко, Ю. В. Пакин, Ю. И. Андрияшек. "Про можливість математичного моделювання пам'яті живої нейросистеми системою диференціальних рівнянь із запізнюванням взаємодії нейронів як варіант реалізації концепції систем, що розвиваються, по В.М. Глушкову", *праці Міжнар. конф. "Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку"*, [Ювілейна збірка, присвячена 90-річчю з дня народження В.М. Глушкова], Київ: Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ, С. 108–110, 2013.
- [2] V. Pysarenko, Yu. Pakin, Yu. Andriyashok, "Pro mozhlivist matematychnoho modelyuvannya pam'yati zhyvoyi neyrosystemy systemoyu dyferentsialnykh rivnyan iz zapiznyuvannyam vzayemodiji neyroniv yak variant realyzatssij kontseptsiji system, sho rozvivayutsya, po V.M. Glushkovu", *Pr. Mizhnar. konf. "Suchasna informatyka: problemy, Dosyahnennya ta perspektivy rozvytku"*, [Yuvileyna zbirka, prysvyacheno 90-richchyu z dnya narodzhennya V.M. Glushkova], Kyiv: Instytut kibernetiky im. V.M Glushkova NANU, pp108-110, 2013.
- [3] V.G. Pisarenko, "Simulation of the problem of interaction of neurons taking into account the lagging of their interaction", *J. "Cybernetics and Systems Analysis"*, Published by Springer Science+Business Media, LLC, vol. 54, no. 3, pp.513- 516, 2018.
- [4] V.G. Pisarenko, "A new living neuronet model taking into account retarded interactions between neurons," *J. "Cybernetics and Systems Analysis"*, Published by Springer Science+Business Media, LLC, vol. 52, no. 6, pp. 989–998, 2016.

Комп'ютерно-Інтегровані Технології як Глобальна Тенденція Розвитку Безпеки Судоводіння Інноваційного Суспільства

Наталія Пунченко
кафедра автоматизованих систем
та інформаційно-вимірювальних
технологій
Одеська Державна Академія
Технічного Регулювання та Якості
Одеса, Україна
iioonn24@rambler.ru

Олександра Цира
кафедра комунікаційних мереж
Одеська Національна Академія
зв'язку ім. О.С.Попова
Одеса, Україна
Aleksandra.tsyra@gmail.com

Надія Казакова
кафедра інформаційних
технологій
Одеський державний екологічний
університет
Одеса, Україна
kaz2003@ukr.net

Computer Integrated Technologies as a Global Trend in the Development of Safety to Navigation of the Innovative Society

Nataliia Puchenko
dept. of automated systems and
information-measuring technology
Odesa State Academy of Technical
Regulation and Quality
Odesa, Ukraine
iioonn24@rambler.ru

Oleksandra Tsyra
dept. of Communication Networks
O. S. Popov Odesa National
Academy of Telecommunications
Odesa, Ukraine
Aleksandra.tsyra@gmail.com

Nadiia Kazakova
dept of Information Technologies
Odessa State Environmental
University
Odesa, Ukraine
kaz2003@ukr.net

Анотація— В роботі надана еволюція впровадження комп'ютерно-інтегрованих технологій як глобальна тенденція розвитку безпеки судноводіння інноваційного суспільства. Відзначено вплив комп'ютерно-інтегрованих технологій на розвиток комп'ютерного інтелекту, детермінованого парадигмою інформаційних технологій, що надає підґрунтя для нових тенденцій еволюції комп'ютерно-інтегрованих навігаційних систем. Проведено аналіз глобального комунікативного явища, що організується за принципом інтеграційної системи, породжуючи феномен системи управління. Визначено передумови виникнення нового глобального рішення безпеки судноплавства -- комп'ютерно-інтегрованої навігаційної системи. На підставі цього рішення показано, що нова навігаційна система є запорукою безпечного судноводіння та мають перспективи подальшого використання для боротьби з аварійністю.

Abstract— The evolution of computer-integrated technologies introduction as a global tendency of development of navigation safety of innovative society is presented in the work. The influence of computer-integrated technologies on the development of

computer intelligence, determined by the paradigm of information technologies, provides the basis for new trends in the evolution of computer-integrated navigation systems. The analysis of the global communicative phenomenon, organized according to the principle of integration system, giving rise to the phenomenon of the control system. The prerequisites for the emergence of a new global navigation safety solution - a computer-integrated navigation system - have been identified. Based on this decision, it is shown that the new navigation system is the key to safe navigation and has the potential for further use in the fight against accidents.

Ключові слова—інформаційні технології; людський фактор; комп'ютерно-інтегровані технології; безпека навігації

Keywords—information technology; human factor; computer integrated systems; safety navigation

I. INTRODUCTION

A high percentage of ship accidents at sea is an objective reality, that cannot be denied, and is due, initially, to the characteristics of external and internal factors, accompanying navigation, which will always be present regardless of the human factor. The level of state and reliability of navigation in modern conditions, the real accuracy of navigation and the quality of solving navigation problems are about half as bad as provided by the norms. [1]. It follows that the complete elimination of the accident rate of ships has no chance. But it is quite possible to influence the number of accidents with the help of various measures and try to achieve its maximum relative reduction for a period that is limited. Such a fall in accident rate can be reached to a certain level, after which the accident rate will inevitably grow again or temporarily stabilize.

A favorable outcome for dealing with accidents can only suggest that this is a step forward to an acceptable level (with limited and permissible material damage), withholding accidents for a short period.

Not to be forgotten that the accident rate and the material damage caused by the accident rate are not compatible and not interdependent. Based on the annual analogy of indicators of absolute growth or reduction of material damage, will receive an exclusively conditional idea of the existing accident rate. True bias may allow a relative accident rate to be observed. It's not a secret for anyone that the value of the indicator is numerically equal to the ratio of all emergency situations, over the period being processed, to the total number of ships that were operated.

The accident of ships very often leads to the loss of human lives. It follows that, not looking at the lack of any guarantee to achieve positive results in reducing accidents in general, the transport company (in water transport) is obliged to look for ways to deal with the causes of accidents. If it was possible to see the trend after the management system for the safe operation of ships in the company was used to reduce not even the number of accidents, but the severity of the consequences of these situations, then the management system for safe operation can be recognized as meeting the global aspiration of the society of skippers. All the above pedals the relevance of solving the problem of safe operation of water transport and the need to continue research on the problem, both theoretical and practical.

II. SITUATIONAL APPROACH TO SAFETY NAVIGATION

The massive use of computer integrated technologies, which is carried out based on their application in marine control systems that ensure navigation safety, is the main content of the phenomenon that today is called navigation integration. It can be seen, the dilemma of safe navigation is in a more rational use of computer integrated technologies, considering the properties of interaction and mutual understanding of the skipper with the intellectual product of navigation. It is the computer integrated technologies included in the control systems that significantly affect and give reason to think about such a task as replacing the organizational system for ensuring safe navigation with its analogue - the computer intelligence.

To date, scientific and technological progress, the improvement of all types of human activities is associated with

information technology, and their use both for independent operations in production and management of the whole production process. It is cyberization of management that has become a mass phenomenon and a necessary condition for the existence of any business. In the process of its development, in this sphere began to raise the issue of developing optimal management decisions in a multilevel information management system. One of the cornerstone questions is the question of a control system in the form of a cognitive structure of distributed knowledge, which demonstrated the possibility of combining professional knowledge of specialists and the intellectual capabilities of modern computers [2]. It follows that informatization and computerization at this stage of modern navigation should be considered, not only as a strategic direction of scientific and technological progress, which should and solves problems to ensure safe navigation.

Such a theory studies and develops the logical and organizational forms of the integration of the skipper with the complexes of intellectual activity tools containing scientific methods for processing information and making decisions, computer and information technology.

A user of a computer integrated control system (skipper) and a set of intellectual activity tools that could be combined into a single whole on the basis that they should get a solution to a common problem, namely: a guarantee of safe operation of ships, which forms a single and complex ergatic system (ergatic organism) in one case, and in another case, positioned as an intelligent system. Of course, if a ship uses a certain ergatic and at the same time intelligent system, then it has its own specific properties, characteristics that can be provided by the developers of the system and depend on intrasystem integration. But at the same time, with whatever options the system is purchased - this system involves minimizing production risks, as a result, a non-threatening level of navigation should be provided, which is set initially.

III. ACTION MECHANISM OF A SHIP COMPUTER-INTEGRATED NAVIGATION SYSTEM

A qualitatively new stage of navigation is computer integrated navigation systems that combine navigation directions: on electronic maps, according to sonar data, where information is transmitted in real time, satellite navigation systems, etc. At the same time, a fundamentally new level of safety and navigation efficiency is achieved.

The work of the hydroacoustic system in an integrated system, where one of the subunits of the multi-beam echo sounder, working in real time, brings it closer to solving the problem. The work of a multi-beam echo sounder: the collection of bathymetric data, forward and backward scattering data simultaneously in a wide field of view, the synergetics of signal processing in the framework of computer integrated navigation systems was considered in [3 – 5].

Management in such systems is implemented based on a mathematical model that describes the dynamics of behavior, which considers all the specifics of water navigation technic. A typified view of the principle of the computer integrated navigation system of the vessel can be characterized as follows: a combination of computer intelligence with individual

knowledge of the navigational staff; a priori information about the characteristics of a particular area of the terrain that is on the ship is compared with information received in real time. Next, information is compared, and the true location is determined, which enters the control system, where influences for actuators are formed.

Computer-based information technology control systems, which are part of integrated systems, provide a selection of performance indicators and optimization of such critical system properties as reliability, security, manageability, and are a key vector in the development of the economy of the water transport industry. The development of computer integrated technologies in the ship's control systems involves developers of a wide range of software systems, they show their signs in the following areas: firstly, this is the analysis and synthesis of complex, autonomously independent automated control systems, including such complex computer systems, like neural networks that are built on the most complex computing resources; secondly, intelligent systems that perform the function of monitoring and controlling objects and processes around the globe through dedicated communication channels, and also anticipate the risks associated with equipment involved in these networks; thirdly, diagnostics of the performance of these devices and control systems. The development and operation of such systems with software administration of technical means is closely related to the need for the highest level of scientific and engineering staff.

When constructing such an independent information system, special attention should be paid to the fact that these systems belong to the dynamic class and their functional dependence is directly related to the standardization of the hardware and technological design of processes, which will fully reflect the direct purpose and implementation conditions, as well as, structuring the features of automatic control, which is directly related to the nature of the processes in the system.

In developing modern computer integrated technologies for water transport, like any other technological systems, need pay significant attention to the experiment. The main purpose of the experiment is to directly study a specific object. Therefore, by changing to input processes and measuring processes at its output, it is possible to identify dependencies, which are an adequate display of the connections between the input and output of the system. This concept in systems engineering is associated with the concept of "state" of a system.

IV. CONCLUSION

Work makes it possible to see that the rapid development of information technology has led society to new horizons for modeling complex systems, namely computer integrated navigation systems, for which the main criterion is to ensure the safe movement of a moving object in certain coordinates. The analysis showed that with the proliferation of innovative means in the daily activities of shipping, for which one of the characteristics is the possession of scientific methods of data processing and decision making, a problem has arisen that can be associated with properties such as the "human factor". It cannot be denied that the promotion of high technology, namely

the cognitive structure, where ensuring navigation safety, to a greater extent, rests on the options of intelligent systems, will lead to the conventional disqualification of maritime experts. The procedure for disqualification of personnel on fleet ships will primarily entail the fact that water transport experts put computer intelligence in the first place, that is, they rely more often in making decisions to ensure safe navigation for intelligent technical means.

But not everything is so sad, and the available computer integrated navigation systems and software were able to simulate safe navigation according to the set motion parameters. Moreover, the use of the cognitive structure of distributed knowledge allows the most efficient use of available resources and in the shortest possible time to achieve the desired result. An invariant approach to the structure of computer integrated navigation systems and the organization of submodules enabled the user to focus on the model using the basic principles and terminology of a specific subject area.

V. ACKNOWLEDGEMENT

We wish to thank prof. V. Kychak, I. prof. [Trotskyshyn](#), , prof. O. Puchenko, and prof. G. Bortnyk, for their insightful comments on earlier drafts.

We would also like to thank Vinnytsia National Technical University for the application of theoretical and practical research in the R & D "Development of the theory and methodology of digital radio signal processing in real time" (Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnitsa National Technical University)

R & D "Development of methods for designing a fiber-optic transmission system" (Ltd "Budivelnik-3", Vinnitsa National Technical University).

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Puchenko N.O., Informaciyni tehnologii: suchasniy stanta perspektivi / N. O.Puchenko, G.V.Aleshin, O.O. // TOV "DISA PLYUS", 2018. ISBN 978-617-7384-95-2. – Pages 133 – 148.
- [2] Puchenko N., Korchenko O., Tsyra O., Kazakova N., Warwas K., Cognitive technologies in the professional knowledge as a means of the optimizing management decisions / N.Puchenko, O. Korchenko, O. Tsyra, N. Kazakova, K. Warwas //19th International Scientific GeoConference SGEM 2019 XIX International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019 : materialy konf. — ISBN: 978-619-7408-79-9, ISSN: 1314-2704 doi: 10.5593/sgem2019/2.1. Pages. 161 –166.
- [3] Puchenko N., Levkovska M., Tsyra O., High-Precision Technologies for Hydro-Acoustic Studies of Complex Bottom / N. Puchenko, M. Levkovska Mariia, O. Tsyra, V. Solodka, G. Kovalova // proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Intellectual system and information technologies». — Ukraine 2019: materialy konf. — Pages 176 – 178.
- [4] Puchenko N.O., Formuvannya danih zvorotnyogo rozsiyuvannya eholota yak umova universalizacii navigaciynoi bezpeki/ N. Puchenko // information technologies and automation – 2019, Odessa 2019: materialy konf. — Pages 76.
- [5] Puchenko N., Tsyra O., Nasibova V., Selection of the model as a factor for control of digital space-time processing of hydroacoustic signals in the multi-beam echo sounders / N. Puchenko, O. Tsyra, V. Nasibova // w Bielsku-Bialej, 2019: materialy konf. — ISBN: 978-83-66249-25-7 (Tom 2) ISBN: 978-83-66249-23-3. Pages. 383 – 390.

Концепція Програми для Задач Моделювання Структури і «Поведінки» Мобільних Роботів із ШІ, Призначених Для Супроводу Пошуково-Рятувальних Операцій в Комбінації Середовищ (Повітряне, Наземне, Підводне) та Навчання

Олександр Коваль
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова
Національної академії наук України
Київ, Україна
askoval@yandex.ua

The Concept of the Program For Modeling Tasks and the Behavior of Mobile AI Robots Intended to Support Search and Rescue Operations in a Combination of Environments (Air, Ground, Underwater) and Education

Alexander Koval
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the
National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
askoval@yandex.ua

Анотація—На сьогодні проблема віртуального моделювання і тестування мобільних роботів для цілей їх безпосередньої реалізації «в металі» є досить актуальною. В статті розглядається підхід до створення спеціалізованих програмних комплексів, спрямованих на вирішення цієї проблеми.

Abstract—Today, the problem of virtual modeling and testing of mobile robots prior to their direct implementation in metal is quite urgent. The article discusses the approach to creating specialized software packages aimed at solving this problem.

Ключові слова— моделювання мобільних роботів; 3D-візуалізація; навчання; штучний інтелект (ШІ)

Keywords— modeling of mobile robots, 3D-visualization, education; artificial intelligence (AI)

I. ВСТУП

Шлях, яким рухається сучасне суспільство, - це шлях автоматизації, роботизації, інтелектуалізації процесів, які виконуються людьми, шлях поступової мінімізації безпосередньої участі людини у небезпечних, трудомістких, некомфортних для оператора процесів, що вимагають високого рівня концентрації уваги кваліфікованого оператора. В цьому напрямі вже досить давно і ґрунтовно в науково-технічній літературі описуються підходи для проектування різномісних мобільних роботів для цілей їх ефективного, безперебійного функціонування в різних, часом небезпечних екстремальних середовищах [1, 2]. З досвіду моїх колег, що досить серйозно займаються цим питанням, можна сказати, що розробка мобільного робота із елементами штучного інтелекту (ШІ) – це трудомісткий і

вкрай нетривіальний процес. Такий процес вимагає використання багатокомпонентних інновацій в різних сферах, наявності інженерних, конструкторських навичок, знань в галузі розробки технологій штучного інтелекту при забезпеченні вільного орієнтування розробників у технічних новинках. Розробник має володіти глибокими знаннями щодо головних результатів численних експериментів, математичних моделей в названій галузі, мати глибокі знання численних проб і певних помилок на шляху до вирішення головного завдання – створення роботів із ШІ для задач збереження життя і здоров'я людей, які працюють у складних небезпечних середовищах.

Однак залишається незрозумілим, – чому дотепер не спрощено і не автоматизовано сам процес розробки мобільних роботів із ШІ, процес самовідлагодження процесу функціонування систем таких роботів (хоча б для спрощених навчальних завдань та для автоматизації простих процесів), – з метою запобігання повторення типових помилок, що неминуче виникають в подібній діяльності. Аналізу можливості для такої автоматизації присвячено дане дослідження.

II. ТЕХНОЛОГІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ідея моделювати процеси проектування, перевіряти роботу алгоритмів, тестувати роботизовані комплекси віртуально за допомогою створення їх математичних моделей зовсім не нова і вивчається досить давно. Достатньо згадати такий прекрасний механізм моделювання фізичних процесів як MATLAB. Потужний, точний, але, на жаль, громіздкий, – він все ж успішно застосовується для роботи з фізичними моделями цілого ряду актуальних процесів та систем. Для технічно точного моделювання, створення та тестування прецизійних механізмів роботу також розроблено цілий ряд програмних комплексів (це, як мінімум, продукти AutoCAD, SolidWorks, CATIA, Компас). Для моделювання тільки геометрії та встановлення зв'язків прямої та інверсивної кінематики між об'єктами сцени використовуються і менш націлені на роботу з технічним проектуванням системи, – 3Ds Max, Maya, Cinema 4D, Blender, Sketchup, K-3D, MODO, Art of Illusion і т. п. Для тестування поведінки роботів можна пристосувати також наступні програмні засоби: Webots, Gazebo, ARGoS, OpenRave, MuJoCo, тощо.

Проблема полягає в іншому, – жоден програмний комплекс не містить у собі повного переліку засобів для того, щоб можна було спроектувати мобільного робота, протестувати у віртуальному середовищі функціонування його електросхем, виявити у них можливі помилки, не змінюючи базових засобів написати штучний інтелект для робота та провести його тестування у віртуальному середовищі. Більш того, чим сильніше спеціалізація програмного комплексу і близькість до задач моделювання роботів, тим менш інтуїтивним і зрозумілим виявляється його інтерфейс. А якщо програми тестування роботів зроблені досить складно, то вони викликають швидше бажання обійтись без них, ніж ентузіазм та конструкторський творчий запал. На те, що процес моделювання може бути інакшим та яскравим вказують логіка і сучасні комп'ютерні ігри.

III. КОНЦЕПЦІЯ ПРОГРАМИ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТІВ З ШІ

Безумовно, якщо ми будемо мати деяку віртуальну лабораторію, що володіє бодай мінімальною кількістю засобів для моделювання електричних схем, для моделювання і, що більш важливо, конструювання власних моделей складних електричних компонентів та плат у фізичному просторі, ми отримаємо потужний засіб, як мінімум, для навчання робототехніці. Якщо ми створимо доброзичливий, простий, розроблений за «ігровими» принципами підйому від простого до складного інтерфейс, додамо чіткий опис компонентів, численні приклади, гайди, tutorіали, навчальні відео, то ми доб'ємось вкрай важливого параметру, – простоти реалізації. Якщо до цього ми додамо тестування на віртуальному 3D-полігоні і зробимо його легким, додамо концепцію поділу усієї розробки на два рівні – простий логічний (рівень, що реалізує нескладний, приблизний, наближений до гри, доступний за змовчанням функціонал) та складний фізичний (рівень, що містить більш точну реалізацію необхідного функціоналу), то ми можемо отримати результат, подібний до того, що дають комп'ютерні ігри, коли людині цікаво, коли прокидається творчість та бажання ускладнювати отриману реалізацію, працювати з отриманим результатом з метою покращення результату.

В зв'язку з вищевказаним є логічним спочатку пропустити складне, а сконцентруватися спершу на тому, що більше цікаве. Якщо ж при цьому наш програмний комплекс бодай частково буде володіти такою важливою характеристикою як «квазівсеосязність», то за його допомогою можна було б спершу розробити концепцію майбутнього мобільного робота, забезпечити його прямо зі старту штучним інтелектом (що задається готовими шаблонами чи програмним кодом, який тут же можна і написати та потім легко перенести для використання реальним роботом). А якщо буде корисним (не змінюючи заданих параметрів) перейти одразу до конструювання електричної схеми мобільного робота та до оптимального підбору таких його характеристик, як потужність двигунів, ємність батарей, можливість корегування його ваги, конструкційної міцності, тощо. Такий підхід у підсумку значно спростить процес розробки.

Розглядаючи процес навчання, видно, що вивчення робототехніки – це мейнстрім на сьогодні. Дипломні роботи багатьох студентів вищих навчальних закладів так чи інакше зачіпають роботу з обчислюваними платами та міні-комп'ютерами, з інтернетом речей і припускають створення всіляких роботизованих технічних пристроїв. З чого випливає, щоб розробка відповідала певним критеріям адекватності побудованих фізичних моделей. Для того, щоб моделювання мало б достатній рівень наближення отриманих результатів до практичних потреб реального світу і для наукових цілей.

Тобто йде мова про розробку технічного завдання на віртуальну, більш менш всеохопну лабораторію для проектування мобільних роботів, середовище що дозволить не тільки тестувати у 3D-середовищі свою концепцію мобільного робота та ШІ, але і конструювати мобільного робота тут же віртуально, переводити його в

цілому, а також його окремі частини зі стану чорного ящика у конкретні електричні схеми, у перелік запчастин до купівлі, до тестування низкорівневої частини віртуально, до виходу на високу стадію завершення проекту, не переходячи від віртуального рівня розробки до реального. Йде мова про шляхи суттєвого спрощення процесу розробки мобільних роботів та зменшення порогу входження рівня підготовки користувачів у досить складний процес моделювання мобільних роботів.

Слідуючи такому підходу, можна дійти висновку, що програмний комплекс для моделювання мобільних роботів обов'язково повинен бути:

- простим у в освоєнні і роботі;
- цікавим;
- інтуїтивно зрозумілим;
- максимально універсальним;
- мотивуючим до подальшого розвитку одержуваних результатів;
- з широкими можливостями по моделюванню робота;
- робота повинна відповідати руху від простого до складного;
- інтерфейс і уся логіка програмного комплексу повинна підштовхувати користувача до експериментування і наукового пошуку.

Програмний комплекс повинен складатись з наступних рівнів:

- рівень тестування програмно і безпосередньо у тривимірному середовищі;
- рівень моделювання тривимірних об'єктів (в тому числі під майбутній друк на 3Д принтері) і їх редагування;
- рівень конструювання та налаштування своїх логічних компонентів;
- рівень створення своїх тривимірних сцен і докладного налаштування тестування;
- рівень конструювання конкретних мікросхем;
- рівень управління проектом;
- рівень написання програм;
- рівень роботи із ШІ і нейронними мережами (потрібні конструктори нейронних мереж, нехай і у мінімальному вигляді з оглядкою на проблеми навчання і тестування [3]);
- рівень оформлення документації та ідей;
- рівень роботи з фізикою і матеріалами (налаштування параметрів тестування та матеріалів

для створення роботів, взаємодія моделей об'єктів та фізики процесів, забезпечення чутливої взаємодії компонентів усієї конструкції;

- рівень моделювання роботи механізмів;

рівень моделювання роботи з інверсивною кінематикою.

IV. ВИСНОВКИ

Проблема віртуального моделювання мобільних роботів є складною і досить актуальною. Численні спроби створити додаток для проектування і тестування мобільних роботів раніше носили хаотичний, невсеосяжний характер. Тому розроблені програмні засоби зараз невзможливо повністю закрити потребу у програмному комплексі, призначеному саме для моделювання роботів, для задач навчання робототехніці. Завдяки цьому, процес конструювання мобільних роботів залишається складним і затратним у плані часу та зусиль, потребує вивчення великої кількості технологій та галузей знань.

Сучасні ігрові підходи як у напрямку моделювання фізичних процесів, так і у напрямку створення дружніх інтерфейсів можуть підказати вірний шлях у напрямку створення програмного комплексу для моделювання мобільних роботів та можуть допомогти розробити дійсно актуальний і цікавий інструмент. В роботі проведено аналіз можливості для такої автоматизації проектування. Запропоновано концепцію програми для задач моделювання структури і «поведінки» мобільних роботів із ШІ, призначених для супроводу пошуково-рятувальних операцій в комбінації середовищ (повітряне, наземне, підводне) та навчання користувачів різного рівня підготовки.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ю.В. Писаренко, "Віртуальне проектування інтелектуалізованих роботів для розвідки і нейтралізації небезпечних екологічних подій": автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06, *НАН України. Ін-т кібернетики ім. В.М.Глушкова*, Київ., 20 с., 2006. J.V. Pisarenko, "Virtual designing intellectualized robots for investigation and neutralization of dangerous ecological incidents": Thisis for Ph.D. degree by speciality 05.13.06, *V.M. Glushkov Institute of Cybernetica of The National Academy of Sciences of Ukraine*, Kiev, 20 p., 2006.
- [2] К.Ю. Мелкумян, "Автоматизована система моніторингу типових техно-екологічних подій": автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07, *НТУУ "Київ. політехн. ін-т"*, Київ., 20 с., 2011. E.U. Melkumian, "Automated system for monitoring typical technoeological accidents": Thisis for Ph.D. degree by speciality 05.13.07, *National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»*, Kiev, 20 p., 2011.
- [3] С. Хайкин, "Нейронные сети: полный курс", Второе издание. Перевод с английского, *Издательский дом «Вильямс»*, Москва – С.-Пб. – Киев, 1104 с., 2006. URL: http://diggerdnepr.ddns.net/wp-content/uploads/2019/05/khaykin_s_neyronnye_seti_polny_kurs_izd_2_2006_ru_pdf.pdf
S. Haykin, "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", Second Edition, *Prentice Hall, Inc.*, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 1104 p., 1999 [On-line]. Available: <https://ru-book2.org/book/2436979/070dce>

Технологія Автоматизації Процесу Збору та Передачі Даних для Експертизи Сортів Рослин на Відмінність, Однорідність та Стабільність

Олександр Коваль
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України.
Київ, Україна
askoval@yandex.ru

Анатолій Бойко
відділ № 265 математичних проблем прикладної інформатики
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України.
Київ, Україна
drizhinagrebliavalgeor27jan@yandex.ua

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

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

Technology for Automating the Process of Collecting and Transmitting Data for the Expertise of Plant Varieties for Difference, Uniformity and Stability

Alexander Koval
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
askoval@yandex.ru

Anatolij Boyko
dept. №265 of Mathematical Problems of Applied Informatics
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
drizhinagrebliavalgeor27jan@yandex.ua

Valeriy Pysarenko
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

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

Анотація—Авторами пропонується удосконалення наявної системи обміну даними в агропромисловій сфері між віддаленими польовими дослідними ділянками та централізованою інформаційною системою обробки інформації.

Abstract—The authors propose to improve the existing system of data exchange in the agro-industrial sphere between remote field experimental sites and a centralized information system of information processing.

Ключові слова—експертиза; сорти рослин; обмін даними; автоматизація

Keywords—expertise; plant varieties; data exchange; automation

I. ВСТУП

Особливістю дослідних установ агропромислової сфери є висока ймовірність віддаленості виробничих або дослідних ділянок одна від одної та від центральної установи. Причому центр збору інформації та її обробки, як правило зосереджено в одному компактному місці. Як приклад, така агропромислова установа, як Український інститут експертизи сортів рослин (УІЕСР) має кількість філій за кількістю областей України [1]. Ця установа відповідає за проведення державної науково-технічної експертизи сортів рослин з метою визначення ступеню придатності їх до поширення в Україні та набуття прав на сорти рослин як об'єктів інтелектуальної власності.

Подібні установи використовують в своїй практиці для інформаційного обміну між відділеними дослідними ділянками та єдиним сховищем даних технологію, якою передбачається заповнення польових журналів, карток досліджень та інших документів спеціалістами на місцях в паперовому вигляді. Потім їх надсилають до відділу центральної установи (далі Установа), з первинним надходженням до канцелярії з реєстрацією документу. Іноді практикується формування документу в електронному вигляді та відправлення документів електронною поштою. При цьому спеціаліст у місцях дослідних випробувань не має доступу до необхідної йому повної бази довідкових даних, не має можливості передавати оперативну всю отриману дослідну інформацію до Установи та мати наявний зворотній зв'язок з її фахівцями. Експерт Установи, що знаходиться на автоматизованому робочому місці (АРМ), отримує дані у вигляді паперових форм-виписок з польових журналів, та вводить їх через відповідні форми програмного забезпечення (ПЗ). На основі цих даних генерується за відповідною математичною моделлю звітна інформація. [2]. Недоліки цієї системи інформаційного обміну досить очевидні.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА КОНЦЕПЦІЯ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

Пропозиція авторів що до удосконалення наявної системи обміну даними реалізує докорінну зміну підходу до реалізації заданих методик кваліфікаційної експертизи на ВОС [2]: це використання в польових умовах зручного мобільного пристрою інформатики, програмне забезпечення якого включає мобільний додаток для

платформи Android. Причому екрани (скрін) додатку відповідають формам введення даних згідно заданої Установою методики, є доступ до довідкових баз та онлайн комунікація з фахівцями Установи, є можливість оперативного внесення даних безпосередньо у базу автоматизованої інформаційної системи (АІС), додавання коментарів та ілюстрацій.

Фахівець в польових умовах використовує службовий планшет чи навіть встановлює додаток на свій мобільний телефон. Після його реєстрації в системі він може вже використовувати додаток як довідник та органайзер, він бачить перелік запланованих робіт, послідовність процедур по конкретному ботанічному таксону згідно з методикою, може оперативного переглядати необхідні документи, що завантажено у бази даних та знань, планувати свій робочий час. Опинившись на полі, фахівець веде збір даних прямо по необхідним пунктам прийнятої методики, актуальним для конкретного сорту рослин, створює і зберігає усі необхідні фото та відео матеріали (звіряє з еталонами, тощо). Суть технології на цьому етапі в тому, щоб зробити електронний спосіб збору даних зручнішим ніж паперовий та прийти до ситуації, коли навіть за необхідності вести паперову документацію людина буде переписувати дані зі сформованої на полі електронної, повністю ідентичної паперової таблиці, а не навпаки. Внесені дані безпечно зберігаються на мобільному пристрої і можуть бути відновлені у випадку його збою. Коли мобільний пристрій з встановленим додатком опиниться біля джерела швидкісного інтернету він зможе автоматично передати зібрані дані до бази АІС, де після перевірки фахівцями, наприклад, Українського інституту експертизи сортів рослин, вони будуть збережені остаточно. Під час збору даних та після для фахівців ведеться зручна статистика, спрощується комунікація між ними. Також спрощується контроль керівництва за діями підлеглих, адже можливо відслідити точні час та місце проведення замірів.

Адміністраторська частина мобільного додатку формується таким чином, щоб не залежати від того, як конкретно зберігаються ті чи інші дані у АІС, створюється спеціальний конструктор, що дозволить поєднати з будь-якими таблицями та створити автоматично усі необхідні запити.

III. ЯКІ ПРОБЛЕМИ ВИРІШУЄ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ

Впровадження технології дозволяє вирішити наступні проблеми:

- проблему спрощення та оптимізації самого процесу збору необхідних даних прямо на полі, створення додатку ведення обліку, на якому було б зручніше вести облік, ніж на паперових носіях та на існуючих додатках;
- проблему оперативного збереження, сортування, відправки до бази, взагалі роботи з необхідними фото-відео матеріалами;
- проблему контролю за роботою фахівців-агрономів;
- підвищення оперативності передачі необхідних даних;

- проблему захисту бази даних Установи від внесення неперевірених даних;

- проблему створення зручного та автоматизованого механізму формування необхідних для внесення даних форм та комунікації їх з існуючою в Установі базою даних;

- забезпечення оперативного доступу до довідкових матеріалів з приводу досліджень (методики, ознаки рослин, тощо) в зручній формі та безпосередньо під час процедури отримання даних на польових ділянках;

- проблему спрощення комунікації відповідних фахівців за рахунок використання сучасних технологій;

- проблему зручності та доступу до довідників та типових функцій робочого органайзера.

Алгоритм функціонування програмного забезпечення мобільного додатку ілюструється за допомогою загальної блок-схеми на рис. 1.



Рис. 1. Загальна блок-схема алгоритму функціонування програмного забезпечення мобільного додатку.

Таким чином, технологія при її впровадженні дає очевидний техніко-економічний ефект, який досягається за рахунок зменшення витрат на додаткову перевірку та ліквідацію виявлених помилок під час процедури передачі інформації з дослідних ділянок до АІС внаслідок суттєвого зменшення кількості кроків під час вказаної процедури та виключення паперової стадії. Крім того мобільний пристрій, програмно налаштований для роботи з методикою конкретного ботанічного таксону, дає можливість вносити дані безпосередньо фахівцем з польової ділянки до бази АІС з забезпеченням зворотного зв'язку в реальному часі з фахівцями Установи.

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] 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>
- [3] V. Pysarenko, J. Pysarenko, O. Koval, "Pro rozvitok avtomatizovanoji informatsiyanoi sistemy zabezpechennya ekspertzy sortiv roslin z urahuvannyam vymog ES", *J. "Komp'yuterni zasoby, merezhi ta systemy"*, № 16, pp. 132-138, 2017 [Online]. Available: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/131518>

Фрактальний метод геопросторової оцінки транспортної освоєності територій

Кузніченко Світлана Дмитрівна
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний
університет
Одеса, Україна
ORCID 0000-0001-7982-1298
skuznichenko@gmail.com

Бучинська Ірина Вікторівна
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний
університет
Одеса, Україна
ORCID 0000-0002-0393-2781
buchiskayira@gmail.com

Клепатська Вікторія Вікторівна
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний
університет
Одеса, Україна
victoria.klepatska@gmail.com

Fractal method of geospatial assessment of territories transport development

Svitlana Kuznichenko
Department of Information Technology
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
skuznichenko@gmail.com

Iryna Buchynska
Department of Information Technology
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
buchinskayira@gmail.com

Viktoriia Klepatska
Department of Information Technology
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
victoria.klepatska@gmail.com

Анотація—В роботі запропоновано підхід до геопросторової оцінки транспортної освоєності територій на основі теорії фракталів. Даний підхід дозволяє отримати кількісні значення розвиненості (рівня просторової складності) для будь-якої дорожньої мережі та на відміну від класичних показників транспортної освоєності (Ботчера, Хенкеля, Енгеля-Юдзуру, Успенського та ін.) враховує лише рівень складності самої транспортної мережі, незалежно від площі території. Розроблено алгоритм розрахунку фрактальної розмірності доріг на основі boxcounting методу. Створено скриптовий інструмент геообробки для середовища ESRI ArcGIS 10.7. Проведено дослідження транспортної освоєності територій України.

Abstract—The paper proposes an approach to geospatial estimation of transport development of territories on the basis of fractal theory. This approach allows to obtain quantitative values of development (level of spatial complexity) for any road network and unlike the classic indicators of transport development (Botcher, Henkel, Engel-Yuzuru, Uspensky, etc.) take into account only the level of complexity of the transport network itself, regardless of the area territory. An algorithm for calculating the fractal dimension of roads based on the boxcounting method has been developed. Geoprocessing scripting tool for ESRI ArcGIS 10.7 has been created. The study of transport development of the territory of Ukraine is carried out.

Ключові слова: геоінформаційні технології, фрактальна розмірність, транспортна освоєність, boxcounting метод, скрипт, ArcGIS

Keywords: geoinformation technology, fractal dimension, transport development, boxcounting framework, script., ArcGIS

I. ВСТУП

На сьогоднішній день розвиток транспортної інфраструктури є однією з найбільш актуальних проблем для всієї території України. Транспортна система має досить високу динаміку розвитку, і ефективність її функціонування залежить від якісної організації і управління. Наявність великої кількості різноманітних властивостей і характеристик, які вже стало неможливим аналізувати і обробляти вручну, робить актуальними розробку та впровадження автоматизованих підходів і засобів по управлінню транспортною системою.

В даний час побудова ефективної транспортної системи, що відповідає потребам суспільства, вимагає застосування відповідного інструментарію для роботи з просторовими даними. Найкращим сучасним засобом для аналізу просторової інформації є геоінформаційні технології, які поєднують функціональні можливості традиційної картографії та інтелектуальної обробки даних у географічних інформаційних системах (ГІС) [1].

Одним з важливих показників, що характеризує транспортну систему країни, є показник транспортної освоєності. Більшість авторів, досліджуючи транспортну освоєність, зіставляють протяжність транспортних мереж з площею території (наприклад, коефіцієнти Ботчера,

Хенкеля, Енгеля-Юдзуру Като і Успенського, формула Колосовського та ін.), що не завжди адекватно відображає реальну картину. При площадковому порівнянні транспортної освоєності кількох територій необхідно враховувати лише площу транспортно освоєних територій. Для того, щоб враховувати лише рівень складності самої транспортної мережі, та не прив'язувати показник транспортної освоєності до площі території, пропонується виконувати розрахунок цього показника на основі теорії фракталів.

Метою даної роботи є розробка ГІС-орієнтованого програмного забезпечення (скриптового інструменту геообробки) для дослідження транспортної освоєності територій на основі фрактальної розмірності доріг.

II. ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ ДОСЛІДЖЕННЯ

A. Класичні показники транспортної освоєності територій

Поняття транспортної освоєності територій пов'язано з такими поняттями як транспортна забезпеченість та доступність, які відображають якісний рівень транспортного обслуговування господарських об'єктів і населення. Очевидно, що ці показники тим вище, чим більше розвинена мережа шляхів сполучення в тому чи іншому регіоні. Для оцінки транспортної освоєності зазвичай використовуються кількісні показники, що виражають відношення довжини шляхів до одиниці площі території або до певної кількості жителів, обсягів виробництва тощо. Наприклад, коефіцієнти Енгеля (KE), Успенського (KU) й Василевського (KV) [2]:

$$k_E = \frac{L}{\sqrt{SH}} \quad (1)$$

$$k_U = \frac{L}{\sqrt[3]{SHt}} \quad (2)$$

$$k_V = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ}} \quad (3)$$

де L – загальна протяжність шляхів сполучення; S – площа території; H – чисельність населення; t – обсяг вантажообороту; Q – загальна вага виробленої в районі продукції.

Досліджуючи транспортну освоєність території, на наш погляд, не вірно зіставляти протяжність транспортних мереж з площею території. Більш раціональним було би відійти від «площадної» складової і розглянути рівень складності самої транспортної мережі. Хорошим прикладом є дослідження з розрахунку транспортної освоєності території на основі теорії фракталів [3]. На відміну від показників (1)–(3), показник заснований на теорії фракталів виключає площу території і враховує особливості структури самої транспортної мережі, де фрактальна розмірність кожної комірки території відображає певний рівень її транспортної освоєності.

B. Розрахунок транспортної освоєності територій на основі теорії фракталів

Відомо, що розмірність Гаусдорфа – це природний спосіб визначити розмірність підмножини в метричному просторі. В тривимірному евклідовому просторі розмірність Гаусдорфа кінцевої множини дорівнює нулю, розмірність гладкої кривої – одиниці, розмірність гладкої поверхні – двом і розмірність множини ненульового об'єму – трьом. Для більш складних (фрактальних) множин розмірність Гаусдорфа може не бути цілим числом [4].

Розмірність Гаусдорфа деякого об'єкта довільної геометрії можна визначити за його двовимірним або тривимірним зображенням за допомогою секційного (boxcounting) методу, суть якого полягає в покритті зображення об'єкта сіткою з розміром комірки $\epsilon > 0$ (рис. 1).

Розмірність Гаусдорфа знаходиться за допомогою співвідношення [4]:

$$d_H = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \frac{1}{\epsilon}} \quad (4)$$

де $N(\epsilon)$ – мінімальне число клітин, сукупність яких покриває об'єкт.

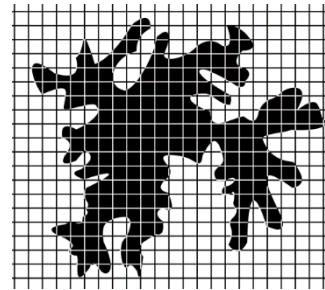


Рис 1. Визначення розмірності Гаусдорфа методом покриття

Фрактал – це геометрична фігура, що володіє властивістю самоподібності, тобто складена з нескінченної кількості частин, кожна з яких подібна до всієї фігури цілком [5]. У математиці під фракталами розуміють множини точок в евклідовому просторі, що мають дробову метричну розмірність (Гаусдорфа), або метричну розмірність, відмінну від топологічної.

Якщо під геопростором розуміти двовимірний простір, то під максимальною транспортною освоєністю території будемо розуміти можливість попадання з кожної точки території в будь-яку іншу точку території по найкоротшій відстані. Будемо розуміти під точками призначення (пунктами) площадний об'єкт, розміри якого (площа) в даному масштабі дослідження незначні. Будь-яку територію можна представити у вигляді кінцевої кількості таких площадних об'єктів в певному масштабі. Оскільки площадний об'єкт повинен заповнювати всю територію, то доцільно обрати для цього відповідну фігуру – шестикутник. Таким чином, транспортна освоєність території буде максимальною тоді і тільки тоді, коли всі

центри шестикутників будуть з'єднані між собою лінійним об'єктом (рис. 2) [3].

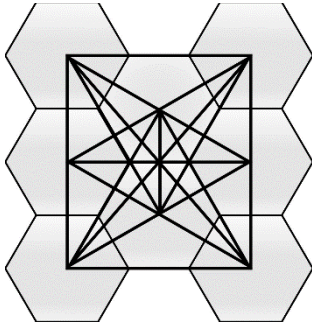


Рис.2. Приклад максимальної транспортної освоєності територій

Так як будь-яка лінія поза евклідового простору до певного масштабу є фракталом, то під транспортною освоєністю території можна розуміти прагнення доріг зайняти всю площу (що і відображає формула (4)), на якій вони знаходяться (в певному масштабі). Отже, транспортну освоєність території можна представити у вигляді відношення фрактальної розмірності досліджуваної дороги до розмірності площі (тобто розмірності, що дорівнює 2). Звідси: $df=d/2$ або

$$d_f = \frac{1}{2} \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\epsilon)}{\ln \frac{1}{\epsilon}}, \quad (5)$$

де d – розмірність доріг, ϵ – довжина кроку (довжина сторони шестикутника).

С. Створення інструменту геообробки

Формула (5) може бути використана для геопросторової оцінки рівня транспортної освоєності території. В роботі розрахунок транспортної освоєності був реалізований у вигляді окремого інструменту геообробки – скрипта Python в ГІС ESRI ArcGIS 10.7.

Для розрахунку фрактальної розмірності доріг використано метод покриття. Виконано розбиття площадного об'єкту (шестикутника) на квадрати зі стороною ϵ та розраховано кількість квадратів $N(\epsilon)$, які покривають всі лінійні об'єкти (дороги) на цій площі. Обчислення $N(\epsilon)$ проведено для різних довжин сторін ϵ (значення $\epsilon_1, \epsilon_2 = \epsilon_1/2, \epsilon_3 = \epsilon_1/4$). За отриманими даними побудовано залежність $\log N(\epsilon)$ від $\log 1/\epsilon$. Обчислення фрактальної розмірності зводиться до пошуку «найбільш лінійної» ділянки залежності $\log N(\epsilon)$ від $\log 1/\epsilon$ та виконанню на цієї ділянки лінійної апроксимації за методом найменших квадратів (МНК). В якості оцінки фрактальної розмірності використовується значення тангенсу кута нахилу прямої МНК.

В ГІС дорожня мережа представлена шаром лінійних об'єктів, а територія, що досліджується, полігональним об'єктом. Об'єкти покриваються шаром правильних шестикутників заданої площі, який буде використовуватися у скрипті для розрахунку фрактальної розмірності доріг під назвою hexfield. Атрибутивна

таблиця цього шару містить колонку UniqueID з унікальним кодом кожного шестикутника і колонку Hex_Area, що містить його площу.

За допомогою інструменту Intersect виконується перетин векторного шару дорожньої мережі з шаром шестикутників hexfield, за результатом виконання якого кожній ділянці дороги привласнюється UniqueID шестикутника в якій вона знаходиться. Об'єднання ділянок доріг, що належать одному шестикутнику в єдиний об'єкт, який має ID, що співпадає з UniqueID шестикутника, виконується за допомогою інструменту Dissolve. Отриманий векторний шар далі буде використовуватися у скрипті під назвою filelines (рис. 3).

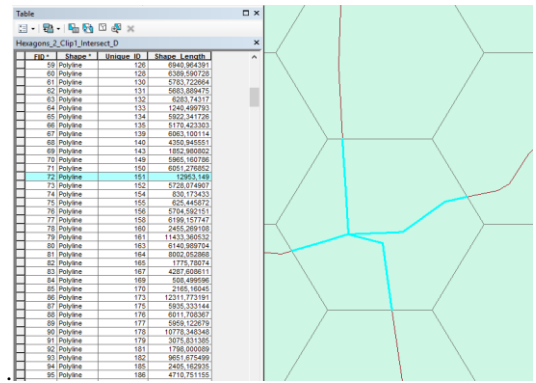


Рис.3. Приклад об'єднання доріг в лінійний об'єкт за площиною шестикутників

Алгоритм роботи скрипта, що розраховує фрактальну розмірність доріг, наведено на рис. 4.

Всього було виконано 5 кроків. Кожний шестикутник покривався сіткою з 1, 4, 16, 64 та 256 квадратів, відповідно довжина сторони квадрата зменшувалася у 1, 2, 4, 8, 16 разів. Фрактальна розмірність розраховувалася за допомогою МНК.

Результатом виконання скрипту є векторний шар шестикутників в атрибутивній таблиці якого в стовпці FracDim знаходяться розраховані значення фрактальної розмірності для кожного об'єкту. Щоб отримати саме транспортну освоєність території треба це значення розділити на 2 відповідно до (5). Буде отримано значення в діапазоні від 0 до 1, яке показує ступінь транспортної освоєності території, що належить певному шестикутнику.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис.5 представлена карта транспортної освоєності України, яка є результатом роботи скрипта. Площа шестикутника дорівнює 1000 км². На території спостерігаються низькі значення фрактальної розмірності за відсутністю населених пунктів і збільшення її значень в околицях міст. При цьому чітко простежується залежність між величиною людності міста і зростанням площі з високим показником фрактальної розмірності навколо нього.

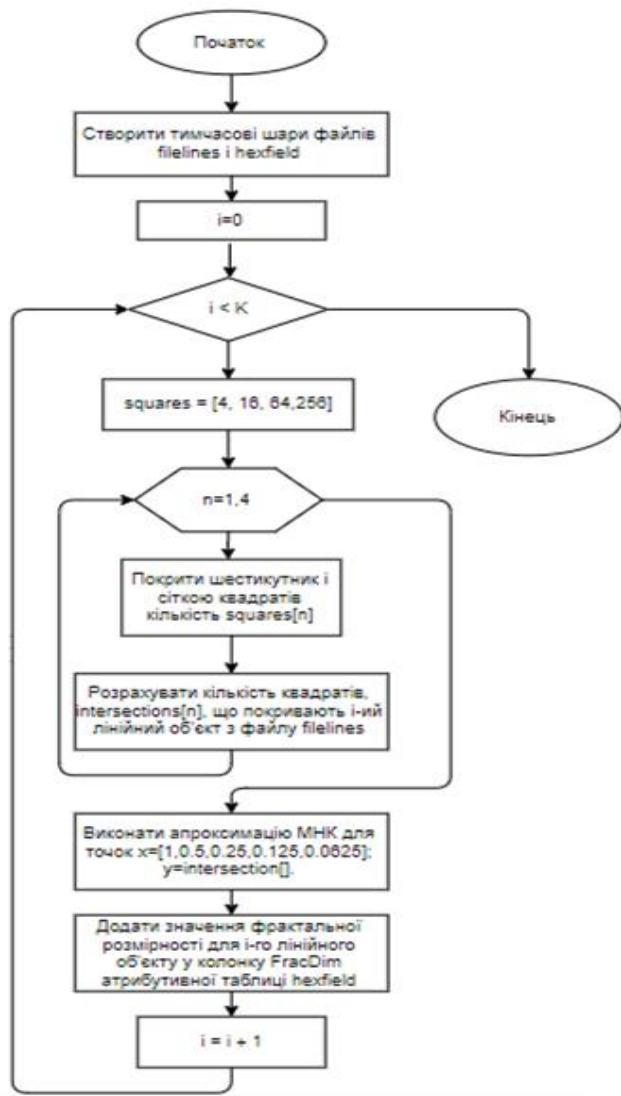


Рис.5. Алгоритм роботи скрипта

В процентному співвідношенні: на 11% території транспортна освоєність менше 0,5 (транспортно неосвоєна територія); на 14% – рівень транспортної освоєності від 0,5 до 0,625 (транспортно низькоосвоєна територія, тобто є одиничні дороги, що перетинають територію); на 63% – значення показника від 0,625 до 0,8 (транспортно середньо освоєна територія, існують нерозвинені мережі доріг між населеними пунктами); і лише на 12% – високий рівень транспортної освоєності в діапазоні від 0,8 до 0,855.

Якщо порівнювати транспортну освоєність різних країн світу, то простежується залежність між величиною щільності населення і зростанням площі території з високим показником фрактальної розмірності.

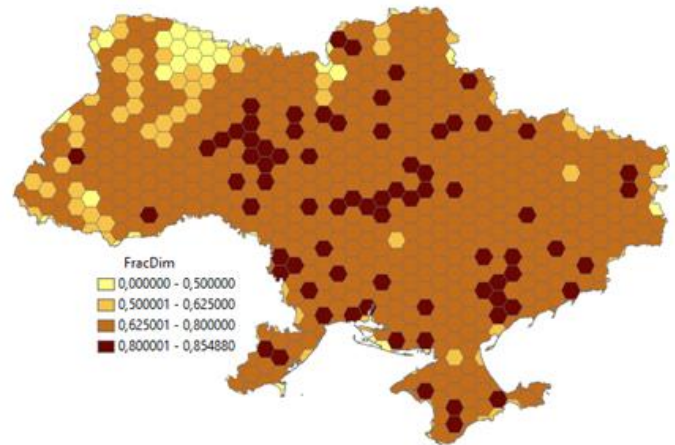


Рис.5. Рівень транспортної освоєності автодорожньої мережі України

IV. ВИСНОВКИ

В роботі запропоновано геопросторовий підхід до дослідження транспортної освоєності на основі фрактальної розмірності доріг, який дозволяє отримати кількісні значення розвиненості (рівня просторової складності) для дорожньої мережі будь-якої території. Розроблено алгоритм розрахунку фрактальної розмірності доріг на основі boxcounting методу. Створено скриптовий інструмент геообробки для середовища ESRI ArcGIS 10.7.

Враховуючи високу обчислювальну складність алгоритму, вектором наступних досліджень в цьому напрямку може бути розробка паралельних алгоритмів обчислення фрактальної розмірності, наприклад, на графічних процесорах GPU.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] R.R. Hanks, Encyclopedia of geography terms, themes, and concepts. Santa Barbara, California: ABC-CLIO, 2011. 405 p.
- [2] А.А. Майстер Геопросторова диференціація господарської освоєності території Волинської області: монографія Луцьк: Терен, 2017. 196 с.
- [3] А. Королєв, В.Яблоков, Модель транспортної освоєності території на основі теорії фракталів. Региональные исследования, Издательство Смоленского гуманитарного университета 2014. №1 (43). 29-34 с.
- [4] Е. Федер, Фракталы. М.: Мир, 1991.
- [5] Б.Б. Мандельброт, Фрактальная геометрия природы. М.: Институт компьютерных исследований, 2002.

Визначення оптимального складу групи БПЛА для виконання поставленої задачі на основі теорії нечітких множин

Леонід Гуляницький
відділ №180
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
leonhul.icyb@gmail.com

Максим Огурцов
відділ №180
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
ogurtsov.maksym@incyb.kiev.ua

Fuzzy sets theory based determination of the optimal UAVs group to perform certain task

Leonid Hulianytskyi
dept. 180
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
leonhul.icyb@gmail.com

Maksym Ogurtsov
dept. 180
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
ogurtsov.maksym@incyb.kiev.ua

Анотація— Розглядаються ситуації, коли декілька безпілотних авіаційних комплексів одного чи різних типів можуть бути використані для виконання поставлених завдань. В цьому випадку для вибору складу групи безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що є оптимальним для виконання цієї задачі, інформації на основі формалізації характеристик цих БПЛА буде недостатньо. В даній роботі на основі математичного апарату теорії нечітких множин та теорії статистичного аналізу запропоновано підхід до розв'язування задачі визначення оптимального складу групи БПЛА і розроблено математичний апарат, що дозволить по сформованих формальних оцінках БПЛА та з використанням засобів автоматизації вирішувати поставлену проблему.

Abstract— Often situations appear when several unmanned aviation complexes of one or different types could be used to accomplish certain task. In this case, to select the UAV group composition that is optimal for such task, it would be not enough to have only information based on these UAVs characteristics formalization. Therefore, in this work on the basis of the mathematical apparatus of fuzzy sets theory and the theory of statistical analysis, we propose an approach to solving optimal composition of UAV group determination problem, and developed mathematical apparatus that allowing to use formal UAVs assessments and automation tools to solve the described problem.

Ключові слова—БПЛА; БпАК; нечітка логіка; нечіткі множини; комбінаторна оптимізація

Keywords—UAV; unmanned aviation complexes; fuzzy logic; fuzzy sets; combinatorial optimization

I. ВСТУП

В багатьох випадках для визначення того, чи один/декілька безпілотних авіаційних комплексів (БпАК) можна застосовувати для виконання певного завдання, достатньо виконати оцінювання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що входять до складу цих БпАК, за певним набором формалізованих характеристик (наприклад, на базі їх класифікацій), та визначити, чи задовольняють характеристики тих чи інших БПЛА умовам задачі [1-3]. Однак у випадках складних завдань або за наявності достатньої кількості доступних БпАК різних типів, інформації, отриманої за цією методикою, не буде досить для визначення оптимального для виконання цього завдання складу групи БпАК. Можливі ситуації, коли для виконання завдання можуть бути використані декілька БпАК різних типів. В цьому випадку для формалізації проблеми оптимізації вибору складу групи БпАК для виконання поставленого завдання не вдається обмежитися лише використанням розробленої класифікацій БпАК. Тому доцільно сформувати з використанням математичного апарату теорії нечітких множин та теорії статистичного аналізу уніфіковану систему оцінок БПЛА, що входять до складу БпАК, і провести розробку математичного апарату, який дозволить

на основі використання цих формальних оцінок БПЛА та засобів автоматизації вирішити поставлену проблему. Результати роботи можуть застосовуватись не лише для вибору БпАК з ряду наявних для виконання конкретної задачі, але й для вибору БпАК (набору різних типів БпАК), які слід закупити для найбільш ефективного виконання усієї сукупності задач, що можуть виникати для них у майбутньому [2].

II. РОЗРОБКА УНІФІКОВАНОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ БпАК

БпАК представляють собою складні технічні системи. Складність при формуванні методології оцінки їх ефективності при виконанні поставлених завдань породжена такими факторами [3]:

- Необхідністю врахування великої кількості показників (вимог) при оцінюванні та виборі раціонального варіанту БпАК з усієї множини наявних.
- Якісним характером частини показників (вимог), що враховуються при оцінюванні БпАК.
- Істотним взаємозв'язком та взаємозалежністю цих показників (вимог), що мають суперечливий характер (наприклад, менший БПЛА є більш складним і споживає менше пального за одиницю часу, але може нести менше корисного навантаження і має менший радіус дії).

Ці перераховані особливості практично унеможливають застосування традиційних математичних методів (методів математичної статистики та теорії ймовірностей) при виявленні моделі, яка буде найбільш ефективно відповідати поставленому переліку вимог.

Тому існує нагальна необхідність в розробці уніфікованої системи оцінювання характеристик БпАК, в якій користувач буде самостійно обирати важливі для нього критерії вибору БпАК (вказуючи їх пріоритети, наприклад, у числовому чи відсотковому відношенні). Для її реалізації необхідно:

- Всі доступні для застосування БпАК формалізувати за релевантною сукупністю їх параметрів та функцій, які мають бути зведені в єдину інформаційну базу.
- Сформувати на основі математичного апарату теорії нечітких множин та теорії статистичного аналізу уніфіковану систему оцінок БпАК.
- Провести розробку математичного апарату, що дозволить по цих формальних оцінках БпАК та з використанням засобів автоматизації вирішити поставлену проблему.

Складність процесу прийняття рішень і відсутність необхідного математичного апарату призводить до того, що при оцінюванні необхідно обробляти та використовувати якісну експертну інформацію, сформовану на базі теорії нечітких множин [4-7]. Математична статистика та теорія ймовірностей використовують експериментальні дані, які мають строго визначені показники точності та достовірності. Теорія нечітких множин працює з якісними характеристиками, які також називають експертною інформацією [3].

III. МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ

Під ефективністю БпАК розуміють ступінь його придатності до виконання поставлених перед ним завдань у конкретних умовах роботи. Ефективність БпАК є узагальненою характеристикою і може бути виражена функцією від великої кількості різних окремих характеристик (технічних, часових, вартісних тощо) і подана у вигляді багатовимірному вектору. До компонент вектору ефективності встановлюються різноманітні вимоги, деякі з яких можуть суперечити одна одній [8]. Нехай X – універсальна множина, тобто повна множина, яка охоплює усю проблемну область вибору БпАК для виконання задачі. Нечітка множина $A \subset X$ – це набір упорядкованих пар $\{(x, \mu^A(x))\}$, де $x \in X$ і $\mu^A: X \rightarrow [0, 1]$ – функція належності, яка являє собою деяку суб'єктивну міру відповідності елемента нечіткій множині; $\mu^A(x)$ може приймати значення від нуля, який означає абсолютну неналежність, до одиниці, яка, навпаки, означає абсолютну належність елемента x до нечіткої множини A . Якщо нечітка множина A визначена на скінченній універсальній множині $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, то її можна подати так:

$$A = \mu^A(x_1) / x_1 + \mu^A(x_2) / x_2 + \dots + \mu^A(x_n) / x_n = \sum_{i=1}^n \mu^A(x_i) / x_i,$$

де $\mu^A(x_i) / x_i$ – пара „функція належності/елемент”, що називається синглетоном, а „+” – визначає сукупність пар. На нечітких множинах визначаються нечіткі числа – це нечітка множина A , визначена на множині дійсних чисел, якщо її функція належності нормальна та опукла

$$\sup_{x \in R} \mu^A(x) = 1, x \leq y \leq z \Rightarrow \mu^A(y) \geq \min(\mu^A(x), \mu^A(z))$$

Що це за формула, що виражає?

Арифметичні операції над нечіткими числами в загальному випадку досить складні, тому їх переважно подають в LR-формі, що відповідає опису лівої та правої частин функції. Тоді нечіткому числу A відповідає функція належності:

$$\mu^A(x) = \begin{cases} L(\frac{m-x}{\alpha}), \alpha > 0, \forall x \leq m, \\ R(\frac{m-x}{\beta}), \beta > 0, \forall x \leq m, \end{cases}$$

Тут L і R – функції, що мають такі властивості: $L(-x) = R(x)$; $L(0) = 1$; R монотонно спадає на проміжку $[0, \infty]$, а m – середнє значення нечіткого числа A , α – відхилення зліва, β – відхилення справа. Використання нечітких чисел та множин дає змогу застосовувати нечітку логіку.

Як відомо, нечітким логічним виразом називають формулу, в склад якої входять нечіткі предикати – відображення $P^F: X^n \rightarrow [0, 1]$, де n – будь-яке натуральне число, що належить відрізьку $[0, 1]$. Число, яке предикат ставить у відповідність конкретному набору x_i , називають рівнем істинності даного виразу. Над складними нечіткими

логічними виразами проводяться допустимі дії – кон'юнкція, диз'юнкція та інверсія. Нечіткою називається логіка, де рівень істинності виразу обчислюється за допомогою операцій над нечіткими множинами та числами. Це виконується встановленням порогу потрібного рівню істинності $\gamma_0 \in (0,1)$, причому в загальному випадку рівень істинності також виявиться не числом з відрізка $[0,1]$, а нечітким числом.

У спрощеному випадку розрахунок комплексного показника оцінки відповідності БПЛА поставленому завданню можна здійснювати без використання нечіткої логіки, за допомогою безрозмірних відносних показників [9]. Нормування показника P_{ij} – розрахунок його відносного значення q_{ij} – тоді виконується з використанням показників базового БПЛА даного типу P_{ij} , в якості якого використовується ідеальний БПЛА, що об'єднує в собі найкращі значення по всіх, без винятку, показниках, які аналізуються для відповідної групи БПЛА (наприклад, ідеальний БПЛА для дослідження території, ідеальний БПЛА для ретрансляції сигналу і т.д.).

У випадку простих критеріїв цей показник відповідності вимогам визначається виразом:

$$N_i = \sum_{i=1}^n \lg(q_{ij}),$$

де n – кількість показників.

Для складних задач, де можуть застосовуватись більш складні критерії, комплексний показник відповідності БПЛА поставленим вимогам визначається так:

$$N_i = \sum_{i=1}^n (1 - q_{ij})^2.$$

Чим менша абсолютна величина комплексного показника відповідності вимогам, тим вищий власне рівень відповідності для даного БПЛА.

Але, як вже було сказано вище, цей підхід не може дати точних результатів через те, що не враховує існуючі взаємозв'язки між показниками. Крім того, ідеальний БПЛА – абстракція, бо кожна реальна задача має свій набір вимог до ідеального для її виконання БПЛА (чи їх набору) того чи іншого класу, причому ці вимоги часто суперечать одна одній. Тому за допомогою цього методу оцінка рівня відповідності БПЛА поставленим вимогам може бути лише наближеною – точного результату він надати не в змозі.

Для оцінки ефективності БПЛА, що підлягає розгляду, слід виділити найбільш важливі показники, що мають системний характер і визначають відповідність БПЛА поставленим перед ним завданням. Назвемо найбільш універсальні серед цих показників:

- тип БПЛА за призначеністю (K_1) – таблиця I;
- тип системи керування польотом (K_3) – таблиця II;
- масштаб завдань (M_1) – таблиця III;
- максимальна висота польоту (M_2) – таблиця IV;
- максимальна швидкість польоту (M_3) – таблиця V;
- максимальний час польоту (M_4) – таблиця VI.

ТАБЛИЦЯ II. Тип БПЛА за призначеністю

j=1	j=2	j=3	j=4
Спостережні	Моніторингові	Дистанційно-зондуючі	Інформаційно-розвідувальні
j=5	j=6	j=7	j=8
Охоронні	Зв'язку	Транспортні	Забезпечувальні
j=9	j=10	j=11	j=12
Робочі	Допоміжні	Комерційні	Багатоцільові

ТАБЛИЦЯ III. Тип БПЛА за системою керування польотом

j=1	j=2	j=3
Автономні	Телекерувальні (a – командні, b – радіонавігаційні)	Комбіновані

ТАБЛИЦЯ IV. Тип БПЛА за масштабом завдань

j=1	j=2	j=3	j=4
до 0,025 кг	до 1 кг	1-10 кг	10-100 кг
j=5	j=6	j=7	j=8
100-1 тис. кг	1-5 тис. кг	5-10 тис. кг	>10 тис. кг

ТАБЛИЦЯ V. Тип БПЛА за максимальною висотою польоту

j=1	j=2	j=3	j=4	j=5
до 200 м	200-1000 м	1-4 км	4-12 км	12-50 км

ТАБЛИЦЯ VI. Тип БПЛА за максимальною швидкістю

j=1	j=2	j=3
до 100 км/год	100-300 км/год	300-600 км/год
j=4	j=5	j=6
від 600 км/год до швидкості звуку	> швидкості звуку до 5 разів)	> швидкості звуку в 5 разів і більше

ТАБЛИЦЯ VII. Тип БПЛА за максимальним часом польоту

j=1	j=2	j=3
до 1 години	від 1 до 3 годин	від 3 до 6 годин
j=4	j=5	j=6
від 6 до 12 годин	від 12 до 24 годин	понад 24 години

При цьому показники K являють собою показники взаємовиключного типу, тобто якщо БПЛА належить до певного варіанту за принципом створення підйомної сили, він не може одночасно належати до інших варіантів. Показники M -- це показники такого типу, що кожен наступний варіант включає в себе всі попередні. Наприклад, якщо БПЛА має максимальну висоту польоту до 12 км, то він також включає в себе і можливі висоти до 4 км, до 1 км і т.д.

Але існують й інші показники, причому вони можуть змінюватись в залежності від типу та класу БПЛА, а також від особливостей поставленого завдання. Якщо ж розглядати відповідність БПЛА B поставленим перед ним

вимогам лише по цим показникам, то цю відповідність можна представити у вигляді вектору його характеристик.

$$B = \{K_1, M_1, \dots, K_m, M_n\},$$

де m та n – максимальні кількості показників відповідно типів K та M .

Набір вимог коливається в залежності від типу БПЛА – наприклад, для ретрансляційних БПЛА не має сенсу розглядати тип навантаження. Тобто кожен клас БПЛА має свій вектор показників (функцій). Значення цих окремих показників для конкретного БПЛА та вимоги, висунуті до цього показника, найкраще демонструють відповідність даного БПЛА поставленій задачі. Для визначення відповідності БПЛА вимогам для кожного групового показника визначаються досягнуті показники даної групи, та їх відповідність потрібному рівню цих показників. Сумарні значення усіх показників групи характеризують мету і досягнуте значення по кожному груповому показнику. Наприкінці розраховується інтегральне оціночне значення (для визначення ступеня співпадіння). В результаті даних обчислень ми отримуємо значення, що характеризує ступінь наближення БПЛА до висунутих до нього вимог по узагальненому показнику. По отриманим результатам можна оцінювати, чи відповідає даний БПЛА поставленим перед ним вимогам в достатній мірі.

Найбільш ефективним буде використання цього підходу при його реалізації у вигляді програмного продукту для автоматизації вищеописаних обчислень, що буде використовувати для вибору БПЛА, найбільш застосовного для виконання поставленого завдання, попередньо сформовані уніфіковані набори показників усіх наявних БПЛА. При цьому користувачу системи слід надати можливість обирати як потрібні йому показники (функції), так і вагові коефіцієнти кожного показника з обраного вектору показників. В якості додаткового показника можна також додати зручність керування БПЛА. Після цього виконується пошук з урахуванням встановлених вимог по усьому списку БпАК даного класу (декількох класів) у відповідності до формули, що використовує вищенаведений математичний апарат нечіткої логіки:

$$z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \Delta q_i \alpha_{ij} x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=k+1}^m \Delta q_i \alpha_{ij} \mu(x_j),$$

Що це за величина і як використовується при пошуку?

де x_j – поточне значення j -ї вимоги, α_{ij} – ступінь впливу вимоги на загальний результат (її коефіцієнт, встановлений користувачем), Δq_i – область допустимих відхилень відповідності БпАК вимогам. У загальному випадку оцінювання проводиться як по кількісним параметрам (перші k вимог із загального набору m), так і по якісним (останні $m-k$), для оцінки яких і застосовується нечітка логіка.

Цей пошук дає змогу визначити БпАК, що відповідають персональним вимогам поточної задачі. Також у відповідності до кількості отриманих результатів обирається Δ -зона можливих рішень, що встановить

допустимий рівень відхилення отриманих результатів від заданих вимог [посилання на термін Δ -зона]. Розмір цієї зони (рівень відхилення) також повинен обиратися користувачем системи. Можливе також використання декількох градацій вибірки – проведення вибірки із вже сформованої вибірки по другорядним параметрам для зменшення кількості варіантів та обрання кращих з них.

Таким чином, запропонований підхід дає змогу користувачу обирати БпАК чи набір БпАК, які потрібні саме для виконання поточного завдання, не витрачаючи кожного разу час на пошук та перевірку параметрів та характеристик БПЛА у складі БпАК. Подібним чином можна визначити, які БпАК є оптимальним вибором для виконання сукупності задач, що можуть виникнути в майбутньому, при виборі цих БпАК для закупки.

Напрямом подальших досліджень після визначення оптимального складу групи БПЛА для виконання поставленого завдання є розв'язання іншої задачі оптимізації - задачі побудови оптимального набору маршрутів для виконання завдання в найкоротший термін і з мінімальним використанням ресурсів [10].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] S.S. Ponda, L.B. Johnson, A. Geramifard, J. P. How, "Cooperative mission planning for multi-UAV teams," Handbook of Unmanned Aerial Vehicles, Dordrecht: Springer, 2015, pp. 1447-1490.
- [2] М.І. Огурцов, "Огляд задачі визначення складу колективу БПЛА, необхідних для виконання поставленого завдання", Міжнародний науковий симпозиум "Інтелектуальні рішення". Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): праці міжнар. наук.-практ. конф., 15-20 квітня 2019р., Ужгород, М-во освіти і науки України, ДВНЗ "Ужгородський національний університет", та [ін.]; наук. ред. В.С. Снитюк., 2019, с.117-118.
- [3] О.М. Ходзінський, М.І. Огурцов, "Розроблення уніфікованої системи оцінок цифрових пристроїв", Вісник університету "Україна". Серія "Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика", № 8, с.145-149, 2010.
- [4] А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров, "Принятие решения на основе нечетких моделей: примеры использования", Рига, "Знание", 1990, 184 с.
- [5] L.F. Hulanyskyi., I.I. Riasna, "Automatic classification method based on a fuzzy similarity relation," Cybernetics and Systems Analysis, vol. 52, no. 1, pp. 30-37, 2016.
- [6] M.-S. Yang and H.-M. Shih, "Cluster analysis based on fuzzy relations," Fuzzy Sets and Systems, 120, pp. 197-212, 2001.
- [7] L.F. Hulanyskyi, I.I. Riasna, "Formalization and classification of combinatorial optimization problems," Optimization Methods and Applications (eds. Butenko S., Pardalos P. M., Shylo V.), Cham: Springer International Publishing AG. pp. 239-250, 2017.
- [8] В.Ф. Бардаченко, Р.П. Графов, Ю.В. Королев, "Графическая интерпретация эффективности сложных систем", Вычислительная техника и моделирование сложных систем в гражданской авиации, №3, с. 67-72, 1977.
- [9] В.М. Байковский, Г.В. Кашуба, "Некоторые аспекты информационного управления новой техникой", Методические материалы по подготовке докладов о важнейших достижениях приборостроения. Издательство УНИИЭП, с. 138, 1977 г.
- [10] В.П. Горбулін, Л.Ф. Гуляницький, І.В. Сергієнко, "Оптимізація маршрутів групи БПЛА за наявності альтернативних та динамічних депозитів", Кібернетика і системний аналіз, №56/2, с. 31-41, 2020.

До питання використання безпілотних літальних апаратів для підвищення безпеки проходження морських суден від метановиверження

Валерій Писаренко
відділ № 265 математичних проблем прикладної
інформатики
Інститут кібернетики ім. 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
upanasuk265@mail.ru

Володимир Красношапка
відділ № 265 математичних проблем прикладної
інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
vkrasnoshapka265@mail.ru

On the Use of Unmanned Aerial Vehicles to Improve the Safety of Methane Ejection for Ships

Valeriy Pysarenko
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

Yuri 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
upanasuk265@mail.ru

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
vkrasnoshapka265@mail.ru

Анотація—Розглянуто застосування палубної авіації – групи БПЛА. Це дає значне підвищення оперативності виявлення загрозливих місць викидів метану.

Abstract—Application of ship deck aviation – UAV group is considered. This gives a significant increase in the speed of detection of methane emissions.

Ключові слова—безпілотні літальні апарати (БПЛА); підвищення безпеки; викиди метану; палуба судна

Keywords—unmanned aerial vehicle (UAV); increased security; methane emissions; ship deck

I. ВСТУП

Під час проходження океанічними або морськими шляхами морські судна стикаються з багатьма перешкодами, неврахування яких може коштувати великих втрат, – економічних та навіть людських.

Одна з таких загроз – явище раптового підвищення концентрації метану над поверхнею певних ділянок морської акваторії під час проходження там морських суден. Для морських транспортних засобів це є вкрай небезпечним. Наприклад, при «залповому» виділенні великої кількості метану (біологічного та вулканічного походження) в морську воду з порід морського дна щільність води в зоні метановиділення зменшується до такої міри, що багато об'єктів в цій зоні, та кораблі в тому числі, не можуть втриматися на поверхні і тонуть [1, 2].

II. ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Загрози метановиділення для проходження водних суден роблять необхідним постійний моніторинг стану концентрації метану в приповерхневих шарах атмосфери з «метано-небезпечних» областей уздовж основних морських шляхів. На цей час вже проводиться вимірювання концентрації метану в атмосфері над морською акваторією методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з використанням штучних супутників Землі (ШСЗ), зокрема згідно з міжнародною науковою програмою для цілей моніторингу зміни. Відомі так звані контактні методи вимірювання концентрації метану [2] з допомогою буйкових станцій з датчиками виявлення метану. Але розташування їх на всьому запланованому шляху проходження судна неможливо забезпечити фізично.

Постановка задачі – розробка концепції та варіантів технічних рішень для підвищення безпеки проходження морських суден в умовах можливого раптового метановиділення на ділянках проходження морських суден, а саме методами оперативного (безпосередньо в процесі руху судна) виявлення ризику метановиділення та попередження командування судна про наявність цієї загрози в області запланованого маршруту слідування.

III. КОНЦЕПЦІЯ ПОБУДОВИ ПРИНЦИПІВ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРОХОДЖЕННЯ МОРСЬКИХ СУДЕН ОКЕАНІЧНИМ ТА МОРСЬКИМИ ШЛЯХАМИ

Авторами пропонується в якості забезпечення безпеки судноплавства від загрози можливого раптового метановиділення на ділянках проходження морських суден передбачити під час прокладання маршруту кожного окремого судна проведення трьох процедур:

- 1) урахування статистичних даних (на протязі 2-3 років) про наявність та координати місць загрозового метановиділення;
- 2) урахування результатів вимірювання концентрації газу метану (як ймовірного передвісника газових викидів) методами дистанційного зондування Землі з використанням групи спеціалізованих ШСЗ;

- 3) урахування результатів вимірювання концентрації газу метану в режимі реального часу з використанням розвідників, – безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оснащених бортовою апаратурою для оперативного вимірювання ними рівня концентрації метану у черговому приводному шарі уздовж маршруту слідування судна.

Перші дві процедури використовуються при попередньому узгодженні маршруту; третя процедура – безпосередньо під час руху судна.

Тільки симбіоз цих процедур дає ефективне вирішення задачі:

- 1) з маршруту повинні бути виключені ділянки, де постійно, на протязі років, спостережуються небезпечні викиди метану;
- 2) аналізуються більш оперативні дані ДЗЗ водних шляхів з допомогою ШСЗ. Сучасний стан розвитку космічної техніки дозволяє забезпечити постійний моніторинг концентрації метану в приводному шарі Світового Океану з отриманням кожного дня (1 раз в 24 години) даних по одній і тій самій області уздовж основних морських шляхів [3].
- 3) заздалегідь на борту судна розміщують групу спеціалізованих БПЛА (варіант палубної авіації), які оснащені апаратурою для оперативного вимірювання рівня концентрації метану в приповерхневому водному шарі на найближчій загрозовій ділянці маршруту слідування даного судна та передачі цих даних на судно в реальному часі.

На основі отриманих даних капітан судна приймає рішення про зміну маршруту слідування судна.

Застосування палубної авіації, – групи БПЛА, дає значне підвищення оперативності виявлення загрозових місць метанових викидів, адже у практиці спостереження за викидами метану важливим є характерна для них спонтанність і непередбачуваність. Навіть оновлювана з частотою близько 2 години карта місць метановиділення не може бути надійною інформацією (викиди метану можуть бути раповими і погрожувати транспорту безпосередньо в момент руху). Кількість БПЛА на борту судна визначається з урахуванням оцінки величини ризику потрапити в зону небезпечного для судна метановиділення та ризику виходу зі строю БПЛА.

IV. ПОСЛІДОВНІСТЬ ДІЙ ВИКОРИСТАННЯ БПЛА

- 1) Відправка групи БПЛА попереду курсу судна уздовж обраного (наміченого) капітаном маршруту.
- 2) Вимірювання концентрації метану спеціалізованою апаратурою на протязі всього руху кожного БПЛА вздовж обстежуваної ним ділянки маршруту.
- 3) Передача на судно в реальному часі з кожного БПЛА інформації про рівень зареєстрованої

концентрації метану уздовж маршруту попереду слідування даного судна.

- 4) Прийняття оптимального рішення про подальший рух судна вздовж поточної ділянки маршруту судна на основі обробки отриманих даних про ризики метановивердження.

ВИСНОВКИ

Комплекс застосовуваних заходів моніторингу інформації про наявність місць небезпечного метановиділення використовує наступні вхідні дані:

- складену попередньо карту ймовірностей метановикидів вздовж шляху проходження судна;
- інформацію, що оперативно надходить з вимірювальної апаратури, яка базується на групі безпілотних носіїв апаратури (як варіанту палубної авіації).

Безпека проходження судна підвищується за рахунок своєчасного коригування маршруту, зважаючи на оперативно виявлену метанонебезпеку.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. D.A. May, J.J. Monaghan. "Can a single bubble sink a ship?", American Journal of Physics, vol. 71, iss. 9, pp. 842-849, 2003.
- [2]. Е.Ф. Шнюков, Н.А. Маслаков. "Потенциальная опасность грязевого вулканизма для судоходства", Ж. "Геология и полезные ископаемые Мирового океана", № 2, С. 81-91, 2009. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/potentsialnaya-opasnost-gryazevogo-vulkanizma-dlya-sudohodstva>.
E. Shnyukov, N. Maslakov. "Potentsialnaya opasnost gryazevogo vulkanizma dlya sudohodstva", J. "Geologiya i poleznyie iskopaemyie Mirovogo okeana", № 2, pp. 81-91, 2009 [Online]. Available: <http://cyberleninka.ru/article/n/potentsialnaya-opasnost-gryazevogo-vulkanizma-dlya-sudohodstva>
- [3]. Л. Юрганов, "Спутники вимірюють метан в Арктиці", Ж. "Наука і життя", №8, С. 2-6, 2016. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/29265/>
L. Yurganov, "Sputniki vimiryuyut metan v Arktitsi", J. "Nauka i zhittya", №8, pp. 2-6, 2016 [Online]. Available: <https://www.nkj.ru/archive/articles/29265/>

Інтегрована Система Прогнозування Часових Рядів на Основі Технології Керованого Навчання Нейронних Мереж, на Прикладі Змін Котирирок Фінансових Інструментів на Фондових Ринках

Віктор Синєглазов

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів, Навчально-науковий інститут інформаційно-діагностичних систем, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Вадим Панькін

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів, Навчально-науковий інститут інформаційно-діагностичних систем, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
vadimpankin@gmail.com

Time Series Prediction and Analysis Integrated System Based on Machine Learning Neural Networks Based on Prediction of Listed on Stock Exchanges Shares Quotes

Viktor Sineglazov

Computer-Integrated Complexes Department, Educational and Scientific Institute of Information and Diagnostic Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Vadym Pankin

Computer-Integrated Complexes Department, Educational and Scientific Institute of Information and Diagnostic Systems, National Aviation University, Kyiv, Ukraine
vadimpankin@gmail.com

Анотація— В цій роботі розглянуто задачу прогнозування часових рядів даних за допомогою моделей керованого навчання нейронних мереж. Запропоновано підхід розв'язання поставленої задачі прогнозування на прикладі прогнозування цін фінансових інструментів, що обертаються на біржах, а також описана система збору, підготовки та обробки даних та подальшого аналізу за допомогою нейронних мереж, яка була створена на протязі виконання роботи.

Abstract— Prediction and analysis system based on historical data structured as time series and processed with neural networks models is subject of this paper. The approach of solution of the task of prediction of shares quotes for financial instruments listed on stock exchanges described along with particular system of data collection, structuring, classification, processing and following analysis with neural networks model that was developed.

Ключові слова— штучний інтелект; гібридні нейронні мережі; кероване навчання; прогнозування цін акцій.

Keywords— artificial intelligence; hybrid neural networks; supervised learning; stock quotes prediction.

I. INTRODUCTION

Forecasting based on big data is an important task in many industries, especially in financial services and investment. One of the key goals in investment process is definition of profitable assets to add to investment portfolio. Current volatile investment markets, especially following the COVID-19 pandemic situation, affected local and global markets, made stock market more attractive for retail and professional investors due to moderate risk, comparing to derivatives, Forex, etc. Efficient investments on stock market normally based on prediction of stocks quotation. Such prediction based on the theory that historical data contains the necessary information to predict future trends, this process involves the tasks of sorting, classifying, structuring, various processing and forecasting methodologies [1]. About 10 years ago, corporations such as

Yahoo, Google, FT, Refinitiv, and others released API products to open up access to an increasing amount of data from financial institutions that allow them to get data directly from financial markets, including benchmarks, news, analytical articles and forecasts. In general, only a small part of this information is structured, most of it is incomplete, fragmented. With proper data acquisition and structuring this data used in the research. The architecture and sources specified in the paper.

The forecasting and modelling in this work focuses on heterogeneity of the process of stocks prices forming [2]. The set of factors that affects stock price of individual company listed on the stock market is information generated daily: news, press releases, announcement (News) and information about company economics (revenue, stability of leadership team, EBITDA, etc.), that is why time series analysis used. As it is not easy to predict crisis in the industry (e.g. COVID-19 effect on Oil industry), local and global market shifts, unexpected situations in one single company the prediction models will be focused on several layers: company level stock price, valuation of portfolios, common market Indexes (NYSE, S&P). To accomplish the goal, following steps are to be completed: create a structured sample of test data structured for time series processing, identify effective mathematical models, create a system for automated design of hybrid neural networks and auxiliary systems, perform a series of simulations and perform validation of results in comparison to common methodologies.

II. NEURAL NETWORK MODEL OVERVIEW

The heterogeneity of the stocks prices forming process was put in center of the research, it is understood as the situation when the probability characteristics of the process, the sample of which is observed, "significantly" changes in the observed period, or when the patterns from the sample belong to several "clusters" that differ significantly in characteristics.

Most of the existing predicting problem statements assume that the nature of the predicted process does not change in the observed period, and thus, the problem can be solved by finding the desired model and estimation of its parameters using all available data [3]. However, often the behavior of the predicted process can change significantly several times during the observed period, which makes such problem statement incorrect - a one single model will not be able to describe several different states of the process. Consider the statement of the predictive problem, which explicitly takes into account the problem of the inconsistent nature of the forecasted process.

Let there be:

- sample of patterns $S = \{(\bar{x}_i, y_i) : i = 1 \dots n\}$, where every pattern is (\bar{x}_i, y_i) consists of a vector of values of inputs and the corresponding output value;
- model f , which depends on some vector parameter $\bar{\theta} = [\theta_1, \dots, \theta_m]^T$ and in the most general way it describes the predicted process – keep in mind that, depending on the parameter values, the model is able to describe all the possible states of the projected object.

- Need to find:

- set of parameter vectors $\Theta = \{\bar{\theta}_1, \dots, \bar{\theta}_k\}$, such that the vector $\bar{\theta}_j$ is optimal according to the criterion L_j on some subset of the output data S_j :

$$\Theta = \left\{ \bar{\theta}_j : \bar{\theta}_j = \arg \min_{\theta} (L_j[f, \bar{\theta}, S_j]), S_j \subseteq S, j = 1 \dots k \right\}.$$

Each parameter vector will thus describe one state of the predicted process on some subset of the initial sample. This problem statement assumes that the available data describe several different states of the process, and a specific vector of parameters can describe each such state. However, the number of such states is unknown – this is the task of an appropriating method of prediction;

- the function of determining the finite vector of parameters θ_s for new input \bar{x}_s based on the found set of parameters vectors Θ and the initial data itself: $\bar{\theta}_s = F(\bar{x}_s, \Theta, S)$, such that minimize some estimation of the prediction error $\hat{e} = e(F, \Theta, S)$.

For further consideration of approaches for the solution of formally given problem, firstly it is necessary to consider certain typical classes of heterogeneous samples – since certain approaches are oriented towards specific types of heterogeneous samples.

This algorithm consists of the following steps:

1. A direct propagation neural network is trained using the full set of available examples $S = \{(\bar{x}_i, y_i) : i = 1 \dots n\}$. The standard error of the network is the standard root mean square error:

$$E = \sum_{i=1}^n [\text{net}(\bar{x}_i) - y_i]^2.$$

The weights $\bar{\theta}^g$ of this network are information about the global nature of the forecast process. The issues of choosing the optimal neural network structure and the optimal learning algorithm are not considered in this thesis – the usual multilayer perceptron with one hidden layer of 10 neurons, with hyperbolic tangent as the activation function of the hidden layer, and the linear function as an output function; Rprop algorithm was used for training [4].

2. Clustering of the sample is performed S . Ideally, each cluster C_j should contain examples that are best described by some single set of network weights $\bar{\theta}_j, j = 1 \dots k$, where k is the number of clusters, that is, performing clustering, assumes that similar examples should be described by similar model weights. Naturally, the quality of the forecasting in this case will strongly depend on the clustering method used.

3. Neural networks k are trained – one per cluster. The training is as follows:

- a) the weights of each network are initialized by the previously found weights $\bar{\theta}^g$;

b) network net_j learns only from cluster examples C_j using the following error function:

$$E_j = \gamma \sum_{\bar{x}_i \in C_j} (net_j(\bar{x}) - y_i)^2 + \sum_{\theta_l \in \theta_j} (\theta_l - \theta_l^g)^2$$

where γ is the regularization parameter.

Thus, when learning network weights will strive to reduce the network error in the examples from their cluster, and not be too far from the original weights $\bar{\theta}^g$ – that is, no loss of information about the global nature of the process.

4. After learning local networks, the prediction for new examples is as follows: for the input vector, the cluster corresponding to it C_h , is found by finding the closest center of the cluster, and the network trained in the examples of this cluster is used for prediction.

III. SYSTEM IMPLEMENTATION OVERVIEW

High level plan of the system implementation and necessary steps:

- Create modules for acquisition and creation of a structured samples of data based on processing and time series models and databased to store results;
- Determine effective mathematical models for classification, evaluation and processing of data for the further creation of a neural network;
- Create module for time series data sets, with different time periods, data clustering and statistical averages calculation;
- Create a system for automated generation of hybrid neural networks, neural network, system for storing intermediate and final prediction data;
- Perform modelling of processes, systems of factors and metrics to determine company metrics and change these metrics in time series using the neural network created, create a reporting system to facilitate the processing of the results of the forecasting system;
- Validate and verify the results obtained based on test data samples, evaluate the effectiveness of the results of the technical and fundamental analysis models.

Approaching to modeling and finding optimum data sets, minimum requirements were set for valid data sets: historical data of stock prices expected to have at least 1000 historical entries per company stock: 750 entries as input for prediction and 250 for comparison and validation. On Pic. 1 you can find the high level diagram of data acquisition modules and technologies used. The model of neural network training defined in previous chapter. Module for data sets generation depicted on Pic 2.

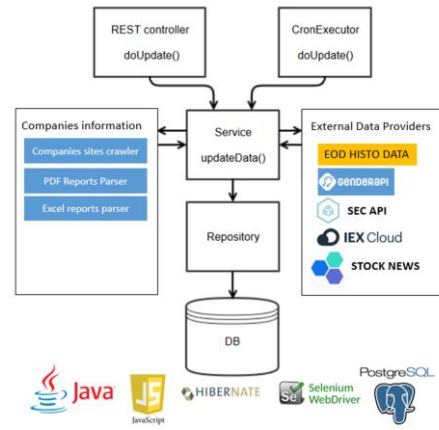


Fig. 1. High level Data Acquisition System

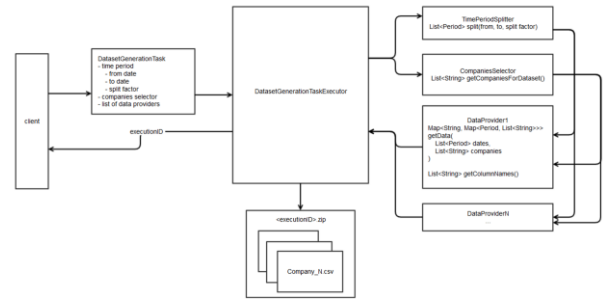


Fig. 2. Data Sets generation

Application of data set generation creates input files, with 750 training parameters of stock price and several more features. 3-layer Neural Network created, with 100 nodes on 3 layers. Optimization of the training network executed with Gradient Descent optimization algorithm. Gradient descent is a way to minimize an objective function $J(\theta)$ parameterized by a model's parameters $\theta \in \mathbb{R}^d$ by updating the parameters in the opposite direction of the gradient of the objective function $\nabla J(\theta)$ to the parameters. The learning rate η determines the size of the steps we take to reach a local minimum. In other words, we follow the direction of the slope of the surface created by the objective function downhill until we reach a valley. [5]. Despite this method can lose efficiency close to local optimum [6], results optimization is done with multiple models run and following approximation.

Generation of the Neural Network model done using Java programming language and deeplearning4j library and Python Long-Short Term Memory (LSTM) neural network set of libraries. Validation of system outputs quality is executed by calculation of mean errors, as provided on example, see Pic. 3, of prediction evaluation, comparing to control set of data for following inputs and outputs:

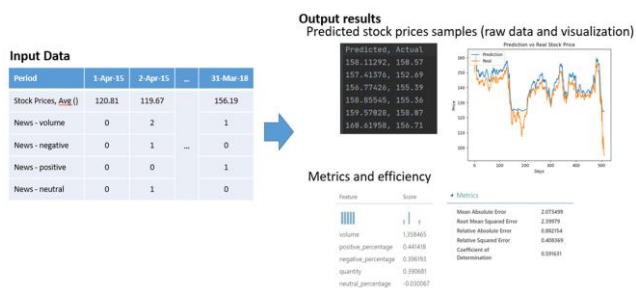


Fig. 3. Input and Output data

During the work execution, multiple sets and types of data were used during modelling, to the moment LSTM with 2 layers of optimization: Gradient descent and multiple execution approximation provided the best results.

IV. CONCLUSIONS

Prediction using neural networks and related optimization algorithms in predictive analysis of processes is a useful tool, giving better results, resources required to obtain first results are similar to preparation to simple regression analysis, but the

tools built are providing multifactor predictive analysis with simple tools set. The area of research is promising, as artificial intelligence is developing fast, and already existent approaches providing good level of prediction for analysis of risks for stocks portfolio.

REFERENCES

- [1] T.Guo, Distributed Time Series Analytics. Thesis N. 7395 (2017). ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE
- [2] H. Peter Boswijk, "Behavioral heterogeneity in stock prices". Journal of Economic Dynamics and Control. Volume 31, Issue 6, June 2007. H. Peter Boswijk; Cars H.Hommes; Sebastiano Manzan.
- [3] V.M. Sineglazov, O.I. Chumachenko, V.S. Horbatiuk, Methods of intellectual prediction. – B. «Osvita Ukraini», 2013.
- [4] Yi-shou Wang, Yan-jun Shi, "An Efficient Differential Evolution Algorithm with Approximate F Functions Using Neural Networks". Artificial Intelligence and Computational Intelligence. International Conference, AICI 2010, Sanya, China, October 23-24, 2010, Proceedings, Part II. Wang, Fu Lee, Deng, Hepu, Lei, Jingsheng (Eds.)
- [5] Sebastian Ruder, "An overview of gradient descent optimization algorithms", Abstract, 2017
- [6] Richard S. Sutton. Two problems with backpropagation and other steepest-descent learning procedures for networks, 1986.

Інтелектуальна Система Аналізу Музикальних Творів

Віктор Синеглазов

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів, факультет аеро-навігації, електроніки та телекомунікацій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
svm@nau.edu.ua

Олена Чумаченко

Кафедра технічної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна
chumachenko@tk.kpi.ua

Володимир Пацера

Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів, факультет аеро-навігації, електроніки та телекомунікацій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна
patsera98@gmail.com

Features of Structural-Parametric Analysis of Hybrid Neural Networks

Victor Sineglazov

Computer-Integrated Complexes Department, Faculty of Air Navigation, Electronics and Telecommunications, National Aviation University Kyiv, Ukraine
svm@nau.edu.ua

Olena Chumachenko

Technical Cybernetic Department National Technical University of Ukraine “Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine
chumachenko@tk.kpi.ua

Volodymyr Patsera

Bachelor of Computer-Integrated Complexes Department, Faculty of Air Navigation, Electronics and Telecommunications, National Aviation University Kyiv, Ukraine
patsera98@gmail.com

Abstract— This paper proposes the use of neural networks to process musical works in order to detect plagiarism and to determine the authorship of many anonymous works based on the pre-decomposition of music tracks into sequences of data related to rhythm, melody and harmony. The result is a corresponding matrix, which is a formalized representation of a piece of music. Structural-parametric synthesis of convolutional neural networks (CNNs) for plagiarism or authorship determination based on the use of a genetic algorithm is considered. An approach is proposed for the formation of a database of music works with definite data on rhythm, melody and harmony. Database information is the basis for constructing appropriate sampling for CNNs training. In this work, a mel-spectrogram is used as a representation of an audio signal.

Keywords—artificial intelligence; convolution neural networks; plagiarism.

According to analysts of an international consulting company Frost & Sullivan, in the next five years, the total volume of the artificial intelligence (AI) technology market will increase fourfold. Compound Annual Growth Rate will be maintained at 31% over the forecast period. It can be concluded that artificial intelligence will become an integral part of people's personal and professional activity in the nearest future.

Due to the modern availability of information, the need for a music examination is as important as ever. Examination of

musical works may be conducted for the following reasons: in order to identify the author of the work, to determine whether or not the work is plagiarized.

Plagiarism in music has always been very common. Not every "independent" examination is truly such, so artificial intelligence (AI) systems have a great potential for analyzing musical works.

At the same time, the main limitations of the known methods and technologies AI due to the lack of effectiveness of their training, the difficulty of adjusting and adapting to the problem area in the context of incomplete and inaccurate background information, the difficulty of accumulating expert knowledge and other features.

Thus, one of the pressing problems in the development of modern AI systems is the development of systems based on deep learning.

For the task of analyzing music, it is very important to choose a way of presenting information, it must describe the sound signal quite accurately and at the same time have a structure that facilitates the selection of signal patterns. A conventional representation of sound as a set of signal amplitude values with maximum accuracy describes the sound signal. In this work, a mel-spectrogram is used as a representation of an audio signal.

Mel - psychophysical value measurement pitch, measurement of height, which is based on a statistical analysis of a large number of data on the subjective perception of height sound tones. This submission has excessive resolution in the treble area.

Data submitted to the network input is presented in the form of melspectrograms. Mel spectrograms can be interpreted as a two-dimensional image, where along one axis the frequency changes, at another time, and more precisely the sequential frames of the spectrogram. Convolution neural networks (CNNs) are known to work well with images. The use of chalk spectrograms also allows to preserve the accuracy of the signal compared, for example, with the chalk spectral coefficients, but allows to reduce the amount of information compared to the spectrogram obtained by applying to the signal of the discrete Fourier transform. The choice of such representation is due to the fact that it allows to reach a compromise between the amount of input data, the accuracy of signal description and their suitability for processing by the neural network. The Mel Spectrogram turns out to consistently perform the following operations: converting an MP3 piece of music in which it is stored, to WAV format - a container for storing a digitized audio stream. From the WAV file, you can extract a discrete representation of the signal in the form of pulse code modulation, to which you can apply a discrete Fourier transform and obtain a frequency spectrogram. In turn, to the obtained spectrogram, apply some transformation, to obtain from it a melspectrogram, which will be the input data for CNN. If we have a CNN in which the input is a mel-spectrogram, and the output belongs to a space of not very high dimension, then the hidden layers of this network will form features that describe the track less accurately than the original data, but already more high-level than the signal at the network entrance. The solution will be to build a neural network whose input is a chalk spectrogram and the output a small, low-dimensional vector such that it is possible to make a marked base suitable for training. To teach this network, then to "cut off" some last layers, and to use as the preprocessor of its first layers. Since the input of this network is formed in just 8 seconds of the track, it is obvious that there is not enough to describe it completely. It is logical to take several 8-second fragments from each track, for a more accurate description of each. There are two ways to do this. The first is to take several fragments in a row and group the results of processing these fragments into one vector for training. The second is to take a few random sections of the track for 8 seconds and study them separately. To calculate the output of the network in the first case is required from the track fragment, duration as in training. The second is to divide the whole track into many 8-second fragments and calculate the track estimate as the average of the score of each of these parts. In this paper, a second approach was implemented; computational cost was the main selection criterion. The first method has a much higher computational complexity due to the large amount of input, and the second method requires much less computational resources and, consequently, learning time.

Based on the analysis of the results of the combined CNN test on the test sample presented in Table. 3.6 - 3.9 You can define meaningful parameters for CNN:

1. Number of convolution layers.
2. Number of aggregation layers.
3. Mutual arrangement of convolution layers and aggregating layers.
4. Convolution layers (each layer separately):size of the convolution kernel (on each layer separately), the number of feature maps (on each layer separately), offset value (on each layer separately), edge effect parameter.
5. Aggregation layers (each layer separately):the size of the aggregation kernel,aggregation kernel function.
6. Fully interconnected layers (each layer separately): number of interconnected layers,the size of each layer,classifier type: autoencoder.
- 7 Removal operation for each layer: percent removal and random function.

A genetic algorithm was used to optimize the structure and parameters of the CNN.

REFERENCES

- [1]. Ye. Bodyanskiy, I. Pliss, and O. Vynokurova, "Hybrid wavelet-neuro-fuzzy system using adaptive W-neurons," *Wissenschaftliche Berichte, FH Zittau/Goerlitz*, no.106 (N.2454–2490), pp. 301–308, 2010.
- [2]. Vinokurova E. A. On a learning algorithm for an adaptive wavelet-neural network on a sliding window / E. A. Vinokurova, N. S. Lamonova // *Automation of production processes.* – №21(2). – 2005. – pp. 71–75.
- [3]. Vinokurova O. A. Functional-coupled multidimensional wavelet-neuro phase system for processing chaotic time series / O. A. Vinokurova // *scientific works: scientific and methodological journal. Computer Technology: issue number. 130.* – T. 143. – 2010. – pp. 71–76.
- [4]. Vinokurova E. A. Адаптивный алгоритм взуття фаззи-вэйвлет-нейронної мережі / E. A. Vinokurova, A.A. Bednarskaya, I.P. Pliss // *Information processing systems.* – №59(1). – 2007. – pp. 15–18.
- [5]. S.K. Oh, W. Pedrycz, and B. J. Park, "Self-Organizing Multi-layer Fuzzy Polynomial Neural Networks Based on Genetic Optimization," *Fuzzy Sets and Systems*. no. 145(1), pp. 165–181, July, 2004.
- [6]. S.K. Oh and B. J. Park, "Self-organizing neuro-fuzzy networks in modeling software data," *Neurocomputing*. no. 64, pp. 397–431, March 2005.
- [7]. Sung-Kwun Oh, Witold Pedrycz, Hyun-Ki Kim, and Jong-Beom Lee, "Self-Organizing Multi-layer Fuzzy Polynomial Neural Networks Based on Genetic Optimization," *Computational Science-ICCS 2004, 4-th International Conference, Krakov, Poland, June 2004, Proceedings, Part II*, 179–187.
- [8]. E. Bodiansky. Artificial neural networks: architectures, training, application / E. Bodiansky, O. G. Rudenko. – Kharkiv: Teletech, 2004. – 369 pp.
- [9]. Golovko V. A. Neural networks: training, organization and application/ V. A. Golovko. – M.: IPRJR, 2001. – 256 pp. – (Series "Neurocomputers and their application." Book 4).
- [10]. <http://mnemstudio.org/neural-networks-kohonen-self-organizing-maps.htm>
- [11]. Gonzalo Martínez-Muñoz, Daniel Hernández-Lobato, and Alberto Suárez, "An Analysis of Ensemble Pruning Techniques Based on Ordered Aggregation," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 31, no. 2, February 2009, pp. 245–259.
- [12]. G. Marturnez-Muñoz and A. Suárez, "Pruning in ordered bagging ensembles," in *Proc. of the 23rd International Conference on Machine Learning*, 2006, pp. 609–616.

Моделювання Чутливості Обчислень Точки Беззбитковості за Допомогою Оптимізації

Євдоким Федорчук

кафедра програмного забезпечення
Національний університет Львівська Політехніка
Львів, Україна
koval946@ukr.net

Оксана Шайда

кафедра підприємництва та екологічної експертизи
Національний університет Львівська Політехніка
Львів, Україна
shaidaoks@ukr.net

Modeling the Sensitivity of Breakdown Point of Violence with the Optimization

Yevdokym Fedorchuk

dept. of Software
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
koval946@ukr.net

Oksana Shaida

dept. of Entrepreneurship and Environmental Expertise
Lviv Polytechnic National University
Lviv, Ukraine
shaidaoks@ukr.net

Анотація— В статті запропоновано оптимізаційну модель обчислення чутливості точки беззбитковості з урахуванням можливих змін ціни, змінних і постійних витрат. На прикладі міроприємства у сфері послуг показано застосування моделі для оперативної оцінки фінансової привабливості.

Abstract— The article proposes an optimization model for calculating the break-even point sensitivity, taking into account possible changes in price, variables and fixed costs. The example of a service event demonstrates the application of a model to promptly evaluate financial attractiveness.

Ключові слова — беззбитковість; чутливість; оптимізація; витрати; ціна.

Keywords— break-even; sensitivity; optimization; cost; price

I. ВСТУП

Точка беззбитковості є одним з показників, застосовуваних для оцінки ефективності бізнесових проєктів [1]. Розрахунок точки беззбитковості проводиться за формулою:

$$Q = FC / (P - AVC), \quad (1)$$

де Q — точка беззбитковості (обсяг продажів); FC — сума постійних витрат; P — ціна за одиницю продукції, послугу; AVC — сума змінних витрат на одиницю продукції. [1].

Особливістю застосування даної формули для моделювання її чутливості до змін аргументів є задача, де кількість аргументів - витратів FC і AVC може бути набагато більшою від одиниці. Це суттєво ускладнює обчислення чутливості. Пропонується підхід до моделювання таких задач на основі оптимізації.

Розглянемо приклад задачі обчислення беззбитковості міроприємства, взятий з [2]. Консалтингова фірма планує проведення семінару. Фінансист фірми повинен розрахувати мінімальну кількість учасників семінару, починаючи з якої можна отримати прибуток від його проведення. В розпорядженні фінансиста є така інформація:

1. **середня ціна** оплати участі для одного слухача становить 625 грн ;
2. **постійні витрати** - оплата праці експертів, які ведуть семінар, 4800 грн ;
3. **постійні** витрати на виготовлення роздаткових матеріалів — 1 тис. грн;
4. **постійні** прямі адміністративні витрати консалтингової фірми на проведення семінару — 5 тис. грн;
5. **постійні** витрати витрати на рекламу семінару — 4 тис. грн;
6. **постійні** витрати на оренду — 2 тис. грн.
7. **змінні витрати** - роздаткові матеріали — 20 грн на одного учасника;
8. **змінні представницькі витрати** на одного учасника семінару — 80 грн;

Для вирішення поставленого завдання фінансист повинен здійснити групування зазначених затрат на постійні та змінні. Змінні витрати на виготовлення роздаткових матеріалів і представницькі витрати на одного учасника складають змінні витрати: $20 + 80 = 100$ грн. Сума умовно постійних витрат : $4800 + 1000 + 5000 + 4000 + 2000 = 16800$ грн. Якщо ціна участі в семінарі становить 625 грн, то, підставивши відповідні значення у формулу (1), отримаємо кількість

учасників, які забезпечать беззбиткове проведення семінару:

$$16\ 800 / (625 - 100) = 32 \text{ особи.}$$

Таким чином, отримати прибуток від проведення семінару можливо в тому випадку, якщо фірма залучить понад 32 слухачі.

За незмінної величини інших параметрів задачі максимальна величина прямих витрат, яка дозволить беззбитково провести семінар при кількості учасників 30 осіб, становить $15\ 750 = (30 \times (625 - 100))$.

II. Моделі для аналізу чутливості

Аналіз чутливості для формули прибутковості дозволяє обчислювати можливі комбінації змінних значень аргументів формули (1), які можуть забезпечувати прибутковість. Для вирішення задачі оцінки чутливості при великих кількостях змінних пропонується оптимізаційна модель [3]. В моделі в ролі критерію досяжності беззбитковості використано значення N_{con} - кількість учасників. Для цієї моделі вирішується задача мінімізації - знайти

$$\text{Min}\Phi = \left(\sum_{i=1}^n x_i / (c - \sum_{k=1}^m y_k) - N_{con} \right)^2 \quad (2)$$

тут :

x – постійні витрати : $n=5$;

y - змінні витрати : $m=2$;

c - задана вартість участі для одного учасника;

N_{con} - задана кількість учасників;

Обмеження задачі. Обмеження на постійні витрати:

$$x_{i,min} \leq x_i \leq x_{i,max} .$$

Обмеження на змінні витрати:

$$y_{k,min} \leq y_i \leq y_{k,max} .$$

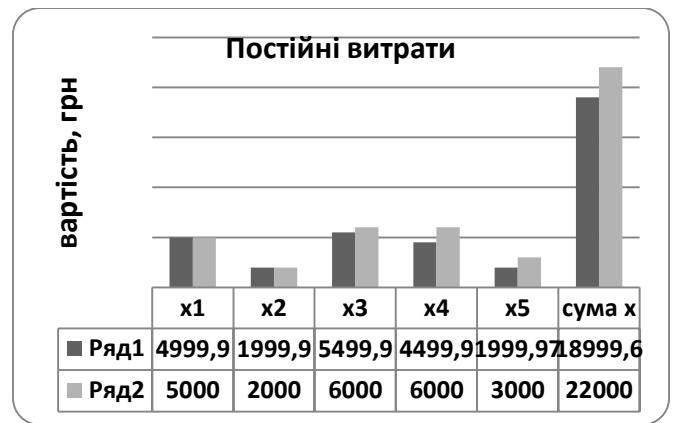
Умова для правильності обчислень: вартість участі повинна бути більшою за змінні витрати.

$$c > \sum_{k=1}^m y_k$$

III. РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ЧУТЛИВОСТІ

Для розв'язування оптимізаційної задачі використали середовище системи Excel і в ній процедуру ПОШУК РІШЕННЯ, призначену для вирішення екстремальних задач з прямими обмеженнями.

Результати обчислень чутливості для формули беззбитковості (1) подано на рис.1.а,б. Обчислення проведені для 2-х значень кількості учасників - 50 і 60 чол.



а)



б)

Рис. 2. Результати обчислень чутливості беззбитковості при різних кількостях учасників для задачі проведення консалтингового семінару.

IV. ВИСНОВКИ

Модель (2) дозволяє швидко обчислювати чутливість формули беззбитковості для різних варіантів вхідних даних і обирати оптимальні варіанти затрат на проведення міроприємств у сфері послуг. Модель є масштабованою до збільшення кількості постійних та змінних витрат. Послідовний аналіз чутливості дозволяє обчислити кластери даних, серед яких можна обирати оптимальні рішення.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Бала В. В. Розрахунок точки беззбитковості як необхідна умова для визначення інвестиційної привабливості підприємства. Електронний журнал "Ефективна економіка". – 2011. – №6.
- [2]. Аналіз точки беззбитковості (Break-Even-Analyse) -електронний ресурс -<https://buklib.net/books/28420/>
- [3]. Федорчук С.Н. Моделювання процесу для обчислення кластерів у базах для технологічних бізнес-процесів / С.Н. Федорчук, Ю.Є. Федорчук // Науковий вісник НЛТУ України.- Львів: ПБВ НЛТУ України . – 2016. - Вип. 26.5. – С. 373-378.

Text and Audio Synchronization System for Audiobooks Service

for text and audio with probable inaccuracies

Roman Khrupa

Department of Artificial Intelligence Systems

Lviv Polytechnic National University

Lviv, Ukraine

rkhrup@ukr.net

Система Синхронізації Аудіокниги та її Текстової Версії для Сервісу Аудіокниг

для тексту та аудіо з ймовірними неспівпадіннями

Роман Хрупа

Кафедра систем штучного інтелекту

Національний університет “Львівська політехніка”

Львів, Україна

rkhrup@ukr.net

Анотація—В цій статті описуються можливі варіанти реалізації системи синхронізації тексту з аудіо та їх результати. Ця система розробляється для сервісу аудіокниг, в яких користувач може читати текстову версію книги і слухати її аудіоверсію. Це дозволяє продовжувати читання з того місця у книзі, на якому користувач зупинився попереднього разу. **Forced alignment** - процес створення текстової транскрипції з аудіо та визначення місця в тексті, де трапляються конкретні слова, вислови, речення.

Abstract—This article describes the possible options for implementing a text-to-audio sync system and their results. This system is designed for audiobooks service, where the user can read the text version of the book and listen to its audio version. This allows the user to continue reading from the place he finished at. **Forced alignment** - the process of taking text transcription from audio and identifying where specific words, expressions occur in the text.

Ключові слова—вимушене вирівнювання, хмарне розпізнавання мови, синтез мови, аудіокниги, мобільний застосунок.

Keywords—forced alignment, cloud Speech-to-Text, speech Recognition, Text-to-Speech, audiobook, mobile app.

I. INTRODUCTION

There are now many tools for decoding audio to text and synthesizing voice from the text. But unfortunately, when decoding audio to text, there are many errors and inaccuracies in punctuation, and the synthesized text does not sound smooth to the listener, so no one wants to listen to the audiobook [1]. Audiobooks are also often followed by music or sound that

enriches the atmosphere and gives you better listening experience. There are a few issues with pre-processing, such as numbers, abbreviations, quotation marks, acronyms etc. The written text contains no obvious emotions, and the pronunciation of foreign names is often incorrect [2]. Therefore, the proposed method will use the original text from the book and a professional voice tag that should be combined to resolve this issue. To do this, on the first stage a timed text from the audio should be discovered and merged with the text of the book, since they may not match with the text. For this task, the ultimate solution is to create a simple interface where the administrator can download the text file and audio file, and then generate a file with a start and end time for audio and a consecutive number of the words.

II. RESEARCH OF AVAILABLE SOLUTIONS

A. STT (Speech-To-Text)

The first obvious solution is to retrieve the text from the audio file, and then combine the text with the original, assuming that there might be errors. There are a few methods for extracting audio from text [3].

CMUSphinx is an open-source set of libraries in Python that provides all necessary tools for speech recognition. The cons of these libraries are that they take more time for set up and don't have Ukrainian [4].

Google Speech-to-Text service is faster than any other. It recognizes Ukrainian and 120 different languages, can automatically recognize the language of audio, and has a great accuracy [5]. But this service does not provide the accurate time

when the word was spoken, and this option is paid. It may work a bit better if you split the audio file into smaller pieces.

Create a new model - You can create your own data set to teach the model to recognize Ukrainian. Also, this method is time-consuming, since it takes a lot of data to learn and to study the model for a long time, and most likely this model will not perform better than Google Speech-To-Text.

B. TTS (Text-To-Speech)

However, it is possible to solve this problem as STT to synthesize audio from the text, and then look for a similar sound. The good news is that the speech synthesis is available in more than 30 languages (including Ukrainian, which is important for our audiobook service) [6].

TTS + Dynamic Time Warping - for this method the first stage is synthesizing audio using any Text-to-Speech Engine technology that supports the languages we need. The second stage is to calculate the matrix representation using Mel-frequency cepstral coefficients for two audio files. The last step is Dynamic time warping for audio files calculating [7].

C. TTS-STT (A combination of the two previous methods)

AeGoMix - A new method that combines best practices with TTS and STT. TTS + Dynamic Time Warping and Google Speech-to-Text will be used for this method. First, we use TTS to find time segments for short sentences on the separate text sections. The next step is finding specific words on the extracted segments using STT.

III. DATA COLLECTION

One audiobook in English and Ukrainian and their text versions were used to demonstrate the results. The book "Alice in Wonderland" was picked because it is available in the required languages and its text and audio versions are free. Bbook — audiobooks service contains many audiobooks in English and Ukrainian. In the future, it's intended to add audio books in other languages, that will allow the user to have one book in different translations and voices. This system makes it easy to switch audio and text versions of the book, as well as different voice and language versions in the future. The description of the dataset is given in Fig. 1.

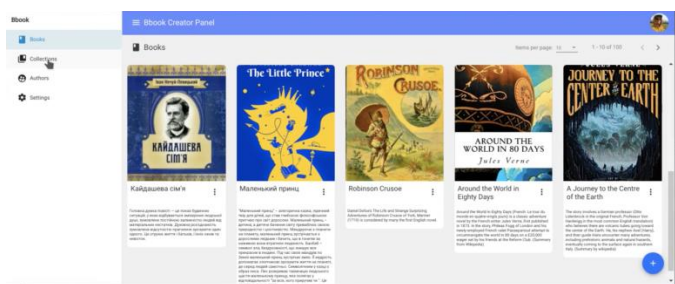


Fig. 1. Collection of books in Bbook service

IV. THE PROPOSED METHOD

Combining a better solution with STT and TTS, it is possible to get a quite impressive result. The proposed method is built as an ensemble TTS + Dynamic Time Warping. It allows us to synchronize text that is different from the audiobook. This is relevant for audio books that have been

translated, as each publishing house can do it his own way. As a result, this method finds snippets of text, even if they differ a lot. Then, using Google Speech-to-Text, we can find specific words for this segment with great precision.

The use-case diagram of the developed system is given in Fig. 2.



Fig. 2. Use-case diagram for system users

V. RESULTS

For this system, it was decided to use the Google Cloud Platform, which makes it easy to plug and open Google Speech-to-Text and Cloud Text-to-Speech. Just as important is that this solution is developed for an existing audiobook service that also uses the Google Cloud Platform.

The diagram of activity is given in Fig. 3.

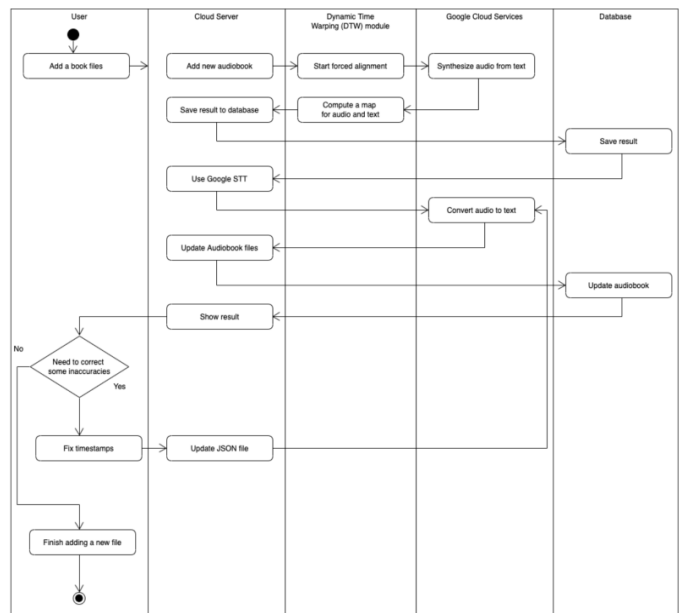


Fig. 3. UML-diagram of activity

Using the admin panel (Fig. 4) the administrator can correct any inaccuracies in this file. He or she can listen to the audio file and change the time limits for each phrase or word as needed

повий), піти чи не піти нарвати квіток — це ж бо така втіха сплести собі з них віночок...	Start	42.160	+	-	✖
Аж тут лез неї промайнув Кролик — білий, з рожевими очима. Диво, звісно, невеличке, як не дивина було й почути, що Кролик бубонить собі під ніс:	Start	43.000	+	-	✖
— Ой лишенько, лишенько, як я забарився!	Start	53.920	+	-	✖
[Згадуючи про це опис, вона подумала, що мала б такі здивуватися, але тієї миті все видавалося цілком звичайним.] Та коли Кролик раптом добув із нагрудної кишені годинника й, зиркнувши на нього, поспішив далі, Аліса скопилася на ноги: зроду-віку ще не траплявся їй Кролик із нагрудною кишенею та ще й при годиннику.	Start	57.120	+	-	✖
Аж третини з цікавості, вона кинулася за ним навадогін — і, на щастя, ще встигла помітити, як він гулькнув у велику кролячу нору під живоплотом.	Start	83.520	+	-	✖
Аліса з розгоном пірнула слідом за Кроликом, навіть не подумавши, як буде звідти вибиратися.[11]	Start	95.480	+	-	✖
Якусь часину кроляча нора йшла рівенько, немов тунель, а тоді зненацька урвалася — так зненацька, аж Аліса й не зчулася, як жухнула навсторч у якийсь глибокий колодязь.	Start	104.160	+	-	✖
Чи то колодязь був просто таки бездонний, а чи так повільно вона падала, але дорогою їй не бракувало часу роззирнутися і поміркувати, що ж буде далі.	Start	117.960	+	-	✖
Найперше Аліса глянула вниз, щоб бачити, куди вона падає, — але там було темно, хоч в око стрель. Тоді вона оглянула стіни колодязя: на них була сила-силенна маленьких мишиків та книжкові полиці, подовуди на кілочках висіли малі й картини. З одного мишика вона пригадала баночку з наліпкою "ПОМАРАНЧЕВЕ ВАРЕННЯ" — та ба! — виявилось, що вона порожня. Вийдати її було лямно (ще вб'є когось, униз), тож Аліса примудрилася тиснути її на одну з полицок, повз яку пролітала.	Start	132.320	+	-	✖
— Ова! — чудувалася Аліса. — Після такого падіння не страшно й зі сходів скотитися! Ото адма дивуватимуться, яка я хоробра! Та що там сході! Тепер я й не писнула б, якби впала навіть із даху! (О це, мабуть, було правдою.)	Start	171.800	+	-	✖
Униз, униз, униз... От би падати так до безкінечності!	Start	191.840	+	-	✖
— Цікаво, скільки миль я вже пролетіла? — міркувала Аліса вголос. Мабуть, уже й до центру Землі недалеко. Ану прикинемо: по-моєму, до нього ще десь чотири тисячі миль.	Start	195.840	+	-	✖
	End	211.000	+	-	✖

Fig. 4. Editor interface to adjust the results of the system

After the administrator uploads the audio book files and its text version to the server, the system finds the sentences from the audio using TTS + Dynamic Time Warping. As a result we will get a JSON file with sentences and the time when they were said. Then we use Google Speech-to-Text to find the specific words in the sentence we received in the previous step. Add the results to the previous file.

As a result, the system generates a JSON file that contains text strings, start and end time when a specific word was spoken. This file will be sent to the client along with the text and audio version of the book.

```
{
  "begin": "3.240",
  "children": [],
  "end": "19.320",
  "id": "f000003",
  "language": "en",
  "lines": [
    "Alice was beginning to get very tired of sitting
    by her sister on the bank, and of having nothing to
    do: once or twice she had peeped into the book her
    sister was reading, but it had no pictures or
    conversations in it, 'and what is the use of a book,'
    thought Alice 'without pictures or conversation?'",
  ],
  "words": [
    {
      "startTime": "3.240s",
      "endTime": "3.710s",
      "word": "Alice"
    },
    {
      "startTime": "3.770s",
      "endTime": "3.970s",
      "word": "was"
    },
    {
      "startTime": "4.050s",
      "endTime": "4.490s",

```

```
},
  "word": "beginning"
},
  "startTime": "4.540s",
  "endTime": "4.870s",
  "word": "to"
},
  ....
},
```

The interface of the mobile app is given in Fig. 5.

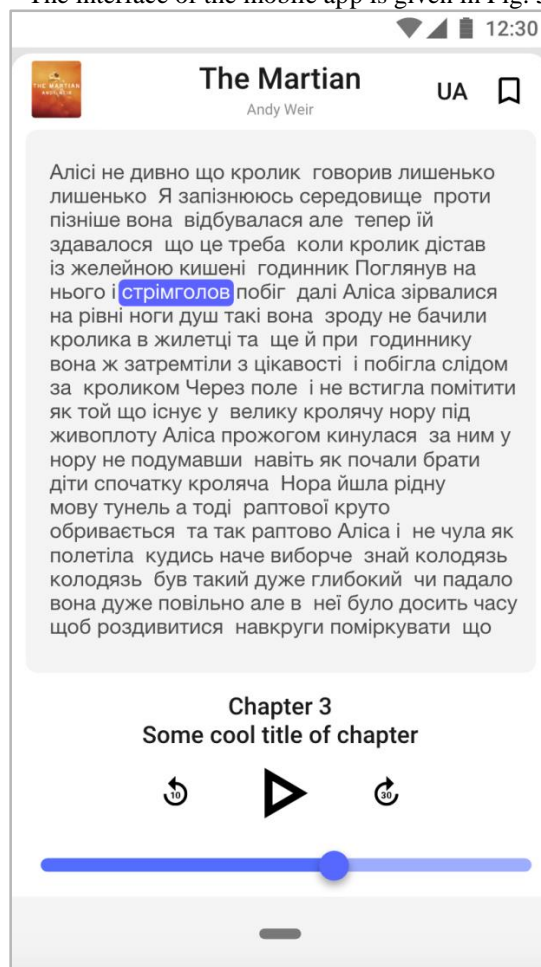


Fig. 5. Interface of mobile application

As a result we get a JSON file that can be transformed into RDF (Resource Description Framework), and it can already be used as input in the ontology in protege and form, supplementing the kernel of the language [8].

CONCLUSION

Let's summarize the achievements described in this article. Available options for text-to-audio transformations were described. Then a new method, based on a combination of the previous two, was offered. It consists both high speed and accuracy while compensating weaknesses of each method (Fig. 6). The new method enables audio and text synchronization even if they differ. The resulting files can help to develop the language kernel in the future, and to improve the recognition of it.

ЇІТЕРАТУРА REFERENCES

	English without inaccuracies	Ukrainian without inaccuracies	Text with inaccuracies
Google Speech-to-Text	95	78	32
TTS + Dynamic Time Warping	81	65	61
AeGoMix	93	83	76

Fig. 6. Accuracy of methods

- [1] De Wet, F., Dlamini, N., Van der Walt, W. J., & Govender, A. (2017). Building synthetic voices for under-resourced languages: a comparison between audiobook and studio data.
- [2] “Problems in Speech Synthesis” [Online]. Available: http://research.spa.aalto.fi/publications/theses/lemmetty_mst/chap4.html. Last access: 28/04/2020
- [3] Kępuska, V., & Bohouta, G. (2017). Comparing speech recognition systems (Microsoft API, Google API and CMU Sphinx). *Int. J. Eng. Res. Appl.*, 7(03), 20-24.
- [4] Telmem, M., & Ghanou, Y. (2017, October). Amazing Speech Recognition System Based on CMUSphinx. In *Proceedings of the Mediterranean Symposium on Smart City Applications* (pp. 397-410). Springer, Cham.
- [5] “Speech-to-Text documentation” [Online]. Available: <https://cloud.google.com/speech-to-text/docs>. Last access: 28/04/2020
- [6] “Text-to-Speech documentation” [Online]. Available: <https://cloud.google.com/text-to-speech/docs>. Last access: 28/04/2020
- [7] “How Does This Thing Work?” [Online]. Available: https://github.com/readbeyond/aeneas/blob/master/wiki/HOWITWORK_S.md Last access: 28/04/2020
- [8] Yuan, J., Lai, W., Cieri, C., & Liberman, M. (2018). Using forced alignment for phonetics research. *Chinese Language Resources and Processing: Text, Speech and Language Technology*. Springer.

Методика Розрахунку Дальності Виявлення і Супроводу Цілі Лазерної Оптико-Електронної Станцією Моніторингу Повітряного, Наземного та Надводного Простору

Ігор Шостко

Кафедра інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
ihor.shostko@nure.ua

Юлія Куля

Кафедра інфокомунікаційної інженерії
ім. В.В. Поповського
Харківський національний
університет радіоелектроніки
Харків, Україна
yuliia.kulia@nure.ua

Method of Calculating The Distance of Detection Range and Tracing of a Target Using Laser Optico-electronic Station of Air, Ground and Naval Surface Monitoring

Igor Shostko

Department of Infocommunication
Engineering V.V. Popovsky
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
ihor.shostko@nure.ua

Yuliia Kulia

Department of Infocommunication
Engineering V.V. Popovsky
Kharkiv National University
of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
yuliia.kulia@nure.ua

Анотація—розробка та випробування лазерної оптико-електронної станції моніторингу повітряного, наземного і надводного простору в видимому і інфрачервоному діапазонах частот. Методика розрахунку граничних значень дальності виявлення і супроводу для задіяного в ЛОЕСМ телевізійного і тепловізійного обладнання при різних метеорологічних умовах. Теоретична оцінка і підготовка до експериментальних вимірювань граничних значень дальності виявлення та супроводу об'єктів.

Abstract— development and testing of laser optical-electronic station for monitoring air, ground and surface space in the visible and infrared frequency bands. meteorological conditions were carried out. Methods of calculation of limit values of detection range and maintenance for television and thermal imaging equipment involved in LOEMS under different meteorological conditions. Theoretical evaluation and preparation for

experimental measurements of limit values for the detection and tracking of objects.

Ключові слова—лазерна оптико-електронна система, цифрова обробка відеопотоку, дальність виявлення та супроводу рухомих об'єктів.

Keywords— laser optical-electronic system, digital processing of video stream, range of detection and tracking of moving objects.

I. ВСТУП.

Розвиток високотехнологічних зразків техніки здатної переміщатися в повітряному, наземному і надводному просторі з великими швидкостями пред'являє все більш зростаючі вимоги до систем їх виявлення, супроводу і обробки траєкторної інформації в реальному масштабі часу [1-4]. З аналітичного огляду аналогів оптико-електронних систем можна зробити висновок: існує дуже багато систем для спостереження і виявлення об'єктів, але вони не мають

Робота виконана за сприянням кафедр інфокомунікаційної інженерії ім. В.В. Поповського, прикладної математики і дослідного заводу Харківського національного університету радіоелектроніки.

апаратної частини для траєкторних вимірювань руху об'єктів в автоматичному режимі і в реальному масштабі часу. Тому в даний час актуальною є задача розробки нової автоматизованої оптико-електронної вимірювальної системи і спеціальних алгоритмів її роботи, спрямованих на роботу в автоматичному режимі і в реальному масштабі часу.

Для вирішення цієї задачі розроблено дослідний зразок малогабаритної лазерної оптико-електронної станції моніторингу (ЛОЕСМ) повітряного, наземного і надводного простору в видимому і інфрачервоному діапазонах частот, Рис. 1. ЛОЕСМ призначена для автоматичного виявлення, розпізнавання, класифікації, високоточного супроводу і видачі вимірювальної інформації про параметри траєкторії руху цілей в реальному масштабі часу.

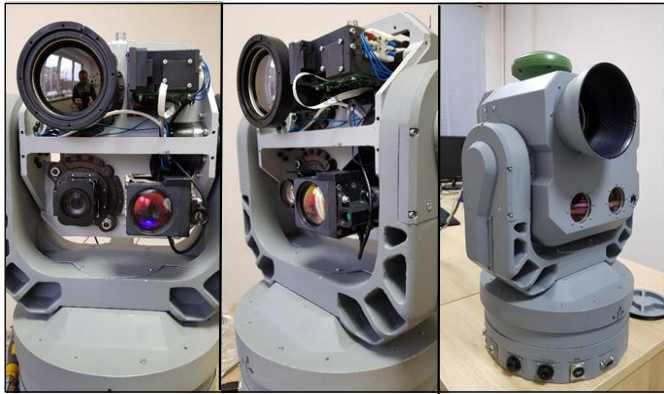


Рис. 1. Виготовлення оптико-електронної системи

Області можливого застосування ЛОЕСМ:

- а) Моніторинг повітряного, наземного і надводного простору в видимому і інфрачервоному діапазонах.
- б) Зовнішні траєкторні вимірювання при полігонних випробуваннях повітряних об'єктів.
- в) Системи наведення засобів ураження рухомих об'єктів в повітряному, наземному і надводному просторах.

Склад ЛОЕСМ:

- оптико-електронний модуль;
- модуль контролю і управління;
- комплект апаратури для топогеодезичної прив'язки і горизонтування платформи;
- блок зберігання і обробки даних;
- система електроживлення.

Характеристики оптико-електронного модуля:

Лазерний далекомір (Рис. 2а):

- а) діапазон вимірювальної дальності до 17 000 метрів;
- б) максимальна частота вимірювань до 5 Гц;
- в) при температурі навколишнього повітря до 40 С далекомір не вимагає додаткового охолодження;
- г) середня квадратична похибка вимірювання дальності:
 - по дифузній цілі – 2 м;
 - по кутовому відбивачу – 0,5 м.

Телевізійна камера FCB-EV7520 показана на Рис. 2б.



Рис. 2. а) Лазерний далекомір; б) Модульна інтегрована з об'єктивом камера FCB-EV7520

Технічні характеристики камери FCB-EV7520 наведено в таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ I. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРИ FCB-EV7520

Розмір сенсора (оптичний)	1/2.8"
Тип сенсора	CMOS
Відношення С/Ш	50дБ
Розмір матриці	5,64 mm×3,18 mm
Розмір діагоналі	6,46 mm
Усього пікселів (Г×В)	1920×1080 px
Розмір пікселя (Г×В)	2.90 μm×2.90 μm
Частота кадрів	30, 60 fps
Чутливість	0,01 Лк
Монохромна/кольорова	Colour
Об'єктив	30x
Зум	4,3 мм–129,0 мм
Фокус, f	F1,6 – F4,7
Горизонтальне поле зору	63.7°–2.3°

Тепловізор XTM 640 GigE (Xenics) (Рис. 3):



Рис. 3. Електронний модуль тепловізора XTM 640

Технічні характеристики камери XTM 640 М наведено в таблиці 2.

ТАБЛИЦЯ II. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАМЕРИ XTM 640

Parameter	Specification
# pixels	640 (W) x 480 (H)
Pixel pitch	17 μm
Spectral Band	8-14 μm
NETD	50 mK @ 30°C

Основні завдання, які вирішуються ЛОЕСМ:

- виявлення рухомих об'єктів в повітряному, наземному і надводному просторі в видимому і інфрачервоному діапазонах частот;
- розпізнавання, класифікація рухливих об'єктів в повітряному, наземному і надводному просторі;
- впорядкування об'єктів по заданому критерію, привласнення ідентифікаційного номерів;
- автоматичний захват об'єкта з вищим пріоритетом на супровід або напівавтоматичний (ручний) захоплення будь-якого об'єкта за вибором оператора;
- високоточне супровід обраного об'єкта;
- обчислення параметрів траєкторії руху об'єкта в місцевій і глобальній системі координат в реальному масштабі часу;
- реєстрація результатів моніторингу цілей в повітряному, наземному і надводному просторі і відеоінформації на цифровому носії;
- передача результатів моніторингу цілей в повітряному, наземному і надводному просторі в центр управління.

Алгоритми для реалізації цих завдань і їх програмна реалізація об'єднані в інформаційно-аналітичну технологію (ІАТ) [5]. Однак можливості ІАТ тісно пов'язано з апаратними можливостями телевізійної та тепловізійної камер, що використовуються в ЛОЕСМ. Тому важливо додати до алгоритмів обмеження, що пов'язані з граничною дальністю виявлення і супроводу ЛОЕСМ.

II. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження – процес виявлення та високоточного супроводу рухомих об'єктів в повітряному, наземному і надводному просторі.

Мета роботи – розроблення методики розрахунку дальності виявлення і супроводу ЛОЕСМ в видимому і інфрачервоному діапазонах частот.

III. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДАЛЬНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ І СУПРОВОДУ ДЛЯ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ

Відповідно до критерію Джонсона [6] для виявлення об'єкта в поле зору відеокамери, необхідно щоб проекція висоти його зображення була не менше ніж N_{Dg} пікселів (Рис. 4). У випадку коли N_{Dg} дорівнює двом пікселям ймовірність вірного прийняття рішення про наявність цілі оператором становить 50%. Для підвищення ймовірності виявлення необхідно при тих же умовах підвищувати N_{Dg}

. Значення множника для N_{Dg} в залежності від необхідної ймовірності виявлення об'єкта наведені в таблиці 3.

В умовах нерівномірного фону і наявності шумів для встановлення факту виявлення об'єкта необхідно більш високе значення N_{Dg} , ніж при рівномірному фоні (таблиця 4) [7, 8]. Для трьох рівнів відношення сигнал/нерівномірності фону (SCR - signal to clutter ratio): рівномірний ($SCR > 10$), середньої нерівномірності ($1 < SCR < 10$), високою нерівномірності ($SCR < 1$) і різних значень ймовірності виявлення об'єкта необхідні значення множника для N_{Dg} представлені в таблиці 5.

Максимальна дальність виявлення:

$$L = \frac{fH}{h} \frac{100}{\Delta},$$

де f - фокусна відстань об'єктива в мм;

H - висота об'єкта в м;

h - висота мішені матриці відеокамери в мм;

$\Delta = \frac{K_p N_{Dg}}{N_{ctr}} * 100\%$ - висота об'єкта у відсотках в

перерахунку на висоту растра фотоприймача;

N_{Dg} - критерій Джонсона;

K_p - коефіцієнт перерахунку для N_{Dg} ;

N_{ctr} - усього пікселів по вертикалі.

Тоді для камери FCB-EV7520 з $N_{ctr} = 1080$, за умов середнього значення нерівномірності фону, ймовірністю вірного прийняття рішення про наявність цілі оператором не нижче 0,95, параметр Δ становить: $2 \times 3,8 / 1080 \times 100 = 0,704\%$. Задаємо габарити об'єкта рівними 1×1 м ($H = 1$ м). Ця камера має матрицю формату $1/2,8''$, висота мішені $h = 3,18$ мм. Дальність виявлення об'єктів, визначається заданою величиною мінімального кута поля зору телевізійної камери $2,3^\circ$, фокусна відстань $f = 129$ мм. Т.ч. максимальна дальність виявлення для камери FCB-EV7520 зі штатним об'єктивом:

$$L_0 = \frac{129}{3,18} \times 1 \times \frac{100}{0,185} = 5762 \text{ м.}$$

Для розпізнавання та ідентифікації об'єкту потрібна N_{Dg} зростає. На Рис. 4 наведено приклад того, як одне і те ж зображення може відображатися при різних значеннях роздільної здатності в пікселях.

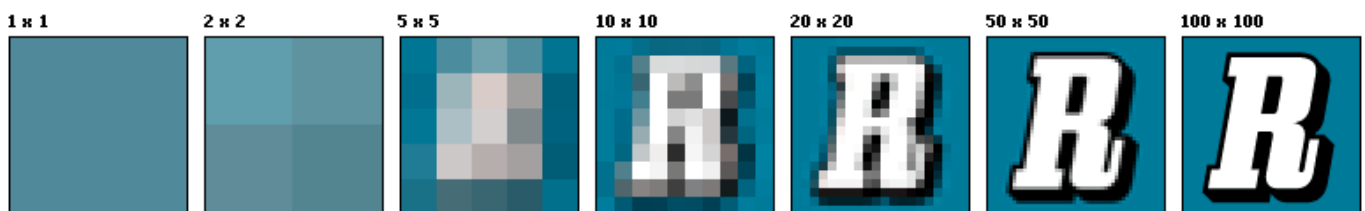


Рис. 4. Залежність відображення об'єкту від роздільної здатності в пікселях

Дальність початку супроводу цілі для камери FCB-EV7520 зі штатним об'єктивом відповідно:

$$L_s \cong 900 \text{ м.}$$

Результати розрахунку максимальної дальності виявлення та початку супроводу цілі при використанні різних об'єктів для камери FCB-EV7520 наведені в таблиці 3.

ТАБЛИЦЯ III. КРИТЕРІЙ ДЖОНСОНА

Рівень визначення цілі	Опис	N_{Dg} для відеокамери	N_{Dg} для тепловізора
Виявлення. Виділення з завад	Об'єкт присутній	2,0±0,5	1,5
Спостереження і аналіз ознак об'єкта	Орієнтація: розрізняється симетричність або асиметричність об'єкта і його орієнтація - вертикальна або горизонтальна. Колір. Форма.	2,8±0,7	
Розпізнавання, вибір алгоритму супроводження	Визначається клас об'єкта - літак, квадрокоптер, автомобіль і т.д.	8,0±1,6	6,0
Ідентифікація	Об'єкт може бути описаний в рамках знань спостерігача - тип автомобіля (вантажівка, легковий, пікап) і т.д.	12,8±3	12,0
Дискримінація.	Реальна ціль може бути розпізнана від імітації, фальшивої цілі.		
Ухвалення рішення на супровід цілі.	Початок супроводу цілі		

ТАБЛИЦЯ IV. Множник K_p для ПЕРЕРАХУНКУ КРИТЕРІЮ ДЖОНСОНА ПРИ РІЗНИХ ЗНАЧЕННЯХ ЙМОВІРНОСТІ ТА ПРИ РІВНОМІРНОМУ ФОНІ

Ймовірність	1,0	0,95	0,8	0,5
K_p	3,4	2,0	1,5	1,0

ТАБЛИЦЯ V. Множник K_p для ПЕРЕРАХУНКУ КРИТЕРІЮ ДЖОНСОНА ДЛЯ РІЗНИХ ЗНАЧЕНЬ ЙМОВІРНОСТІ В РІЗНИХ УМОВАХ НЕРІВНОМІРНОСТІ ФОНУ

Ймовірність виявлення	Нерівномірність фону		
	Низька (SCR>10)	Середня (1<SCR<10),	Висока (SCR<1)
1.0	3.4	5.6	-

0.95	2.0	3.8	-
0.9	1.8	3.4	14.0
0.8	1.5	2.6	10.0
0.5	1.0	2.0	5.0

ТАБЛИЦЯ VI. МАКСИМАЛЬНА ДАЛЬНОСТЬ ВИЯВЛЕННЯ І СУПРОВОДУ ЦІЛІ В УМОВАХ СЕРЕДНЬОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ФОНУ ПРИ «КРИТИЧНОМУ РОЗМІРІ» ЦІЛІ - 1 М

Камера + Об'єктив	Виявлення, м	Супровід, м
<i>Камера: FCB-EV7520</i>		
<i>об'єктив:</i>		
129 мм	5770	900
150мм	5700	1050
750мм	33520	5240
1000мм	44690	6980
1250мм	55860	8730
1600мм	71500	11170

IV. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ДАЛЬНОСТІ ВИЯВЛЕННЯ І СУПРОВОДУ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ КАМЕРИ

Слід враховувати принципово інший характер випромінювання цілі в довгохвильовій області в порівнянні з видимим діапазоном. У видимому і ближньому інфрачервоному діапазоні засоби спостереження реєструють вторинне випромінювання, що розсіюється поверхнею об'єкта, а в тепловому діапазоні - власне випромінювання об'єктів. На Рис. 5 видна структура нагрітого об'єкта (чайник) на фоні холодної стінки.

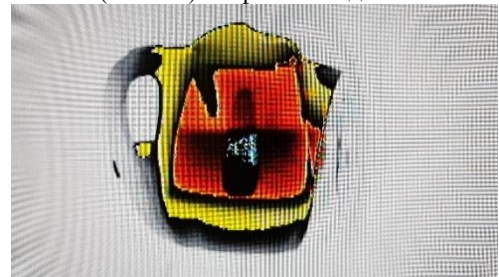


Рис. 5. Структура нагрітого об'єкта на фоні холодної стінки

У видимому діапазоні відносна величина сигналу, яка визначається різницею коефіцієнтів відбиття/поглинання цілі і фону, може приймати як позитивні, так і негативні величини і зазвичай апіорі є невідомою.

Власне випромінювання об'єктів в довгохвильовій інфрачервоній області, підкоряючись закону Стефана-Больцмана (1), залежить від власної температури об'єкта

$$P = S \varepsilon \sigma T^4, \quad (1)$$

де P - потужність випромінювання, S - площа поверхні об'єкта, ε - коефіцієнт випромінювання поверхні, σ - постійна Больцмана, рівна $5,67 \times 10^{-8}$, T - абсолютна температура об'єкта.

Оскільки в більшості випадків температура цілі в активному стані - вище температури фону, то можна впевнено сказати, що ціль буде володіти позитивним контрастом щодо фону.

У разі рівномірного фону, для чого на практиці досить відсутності прямого сонячного випромінювання, тобто в похмуру погоду або в темний час доби, завдання виявлення цілі зводиться до виявлення на зображенні зони з позитивним контрастом. Якщо температура об'єкта значно вище температури фону, то можливість його виявлення зберігається також за умови, що розмір зображення менше одного елемента сенсора, оскільки інтегральний потік випромінювання, що потрапляє на елемент дає сигнал достатній для його виділення на тлі підстильної поверхні. Таке точкове виявлення сильно нагрітих предметів може виходити за межі дистанції, розрахованої на основі критерію Джонсона по чисто геометричним параметрам.

В умовах рівномірного фону і високою різницею температур можливість виявлення буде визначатися не тільки геометричними, а й значною мірою енергетичними характеристиками цілі, що дозволяє виявляти об'єкти на більшій дистанції, ніж передбачається за критерієм. В умовах нерівномірного фону з урахуванням значної відмінності теплової сигнатури цілі від видимого силуету дистанція виявлення та ідентифікації буде навпаки менше, ніж передбачається за критерієм.

Граничні дальності визначення цілі для тепловізійних приймачів, розраховані за критерієм Джонсона наведені в таблиці 5. Розрахунок проведено для найбільш широко поширених в даний час розмірів приймального елемента 38 мкм (для охолоджуваних датчиків) і 15 мкм (для охолоджуваних датчиків) і ряду стандартних фокусних відстаней об'єктивів. Критичний розмір цілі дорівнює 1м. Розрахунок власного випромінювання об'єктів проводиться за наведеною вище формулою (1).

ТАБЛИЦЯ VII. МАКСИМАЛЬНА ДАЛЬНОСТЬ ВИЯВЛЕННЯ І СУПРОВОДУ ЦІЛИ ДЛЯ ТЕПЛОВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ В УМОВАХ СЕРЕДНЬОЇ НЕРІВНОМІРНОСТІ ФОНУ ПРИ «КРИТИЧНОМУ РОЗМІРІ» ЦІЛИ - 1 м

Камера + Об'єктив	Виявлення, м	Супровід, м
Камера: Indium Antimonide (InSb): - 640 x 480 pixels; - 3.5 to 5.0µm; - 15.0µm Об'єктив: 275 мм (1,5°) 490мм (0,84°) 735мм (0,56°) 1100мм (0,38°)	2410 4300 6450 9650	380 670 1000 1500
Камера: - 320 x 240 pixels; - 3.5 to 5.0µm; - 38.0µm Об'єктив: 275 мм (1,5°) 490мм (0,84°) 735мм (0,56°) 1100мм (0,38°)	950 1700 2545 3810	150 265 380 595

Для збільшення дальності тепловізійного спостереження краще застосовувати інфрачервоні камери з охолоджуваними детекторами. Це найбільш доцільно в

середньохвильовому діапазоні у вологих атмосферних умовах.

Результати оцінки відстані, на яке «бачить» тепловізор, проведено для типових погодних умов. Так, наприклад, для помірного дощу коефіцієнт ослаблення буде 3-4 дБ/км, а для слабого снігопаду - 2-3 дБ/км. Методика оцінки полягає в порівнянні випромінювання поверхні об'єкта і фону (наприклад, на фоні землі). Як тільки контраст цілі і фону стане нижче межі чутливості тепловізора - виявлення буде неможливо. Для початку потрібно розрахувати інтегральну потужність випромінювання об'єкта і фону за формулою 1, потім співвідношення «сигнал/фон» по формулі:

$$S = 10Lg Lg(Pc/Pф). \quad (2)$$

Для обчислення граничного співвідношення необхідно розрахувати значення потужності P_c та P_ϕ , що відрізняються на величину NETD, наведену в паспорті тепловізора. Провівши необхідні обчислення, отримаємо наступні значення (таблиця 8) для об'єкта ($T = 300$ К) на фоні землі, нагрітої до 20°C (для літніх умов).

ТАБЛИЦЯ VIII. ГРАНИЧНА ДАЛЬНОСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ДЛЯ ЛІТНІХ УМОВ

Величина	Параметр
Інтегральна потужність випромінювання цілі (на м^2)	517 Вт
Інтегральна потужність випромінювання фону (на м^2)	418 Вт
Співвідношення «сигнал / фон»	0,92 ДБ
Гранично допустимо співвідношення «сигнал / фон» (NETD = 50 мк)	0,003 ДБ
Гранична дальність виявлення:	
- в ясну погоду	Більше 2 км
- в слабкий туман	Близько 1 км
- в помірний дощ	Близько 500 м
- в сильний дощ	Близько 300 м

Аналогічну таблицю можна скласти і для зимових умов (таблиця 9) - температура фону дорівнює -20°C .

ТАБЛИЦЯ IX. ГРАНИЧНА ДАЛЬНОСТЬ ВИЯВЛЕННЯ ДЛЯ ЗИМОВИХ УМОВ

Величина	Параметр
Інтегральна потужність випромінювання цілі (на м^2)	517 Вт
Інтегральна потужність випромінювання фону (на м^2)	232 Вт
Співвідношення «сигнал / фон»	3,5 ДБ
Гранично допустимо співвідношення «сигнал / фон» (NETD = 50 мк)	0,003 ДБ
Гранична дальність виявлення:	
- в ясну погоду	Більше 2 км
- при слабкій серпанку	Більше 2 км
- в помірний снігопад	Близько 1500 м
- в сильний снігопад	Близько 600 м

Наведені дані не є істиною для будь-яких об'єктів - вони дозволяють приблизно оцінити вплив атмосферних опадів

на дальність виявлення. Тому для перевірки розрахунків необхідно тестувати цілі в реальних умовах (Рис. 6).



Рис. 6. Лабораторний стенд вимірювання дальності виявлення і супроводу тепловізійної камери, лазерного далекоміра (довжина траси 30 м)

В планах подальших досліджень проведення випробувань ЛОЕСМ в полігонних умовах.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено дослідний зразок малогабаритної лазерної оптико-електронної станції моніторингу повітряного, наземного і надводного простору в видимому і інфрачервоному діапазонах частот. Розробка ЛОЕСМ та спеціальних алгоритмів її роботи, спрямовано на роботу в автоматичному режимі та в реальному масштабі часу, тому програмну реалізацію блока виявлення та супроводу цілі рекомендуємо використовувати на платформі Xilinx Zynq-7000 і ZU + MPSoC, включаючи плати ZCU102, ZCU104.
2. Розроблено інформаційно-аналітичну технологію обробки відеопотоку в видимому і інфрачервоному

діапазонах частот для автоматичного виявлення та високоточного супроводу повітряних об'єктів в реальному масштабі часу. Визначено основні складові блок-схеми алгоритмів виявлення, захоплення та супроводження цілей.

3. Розроблено методику розрахунку дальності виявлення і супроводу цілі ЛОЕСМ в видимому і інфрачервоному діапазонах частот. Проведено корекцію розробленого алгоритму з урахуванням обмежень дальності виявлення і супроводу цілі для телевізійної і тепловізійної камери.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Danelljan M., Khan F. S., Felsberg M., van de Weijer J. Adaptive Color Attributes for Real-Time Visual Tracking (Адаптивные атрибуты цвета для визуального отслеживания в реальном времени) // Область компьютерного зрения и распознавания образов (CVPR). Конференция IEEE, июнь, 2014 г., 2014. С. 1090–1097, <http://www.cvl.isy.liu.se/research/objrec/visualtracking/colvistrack/index.html>
- [2]. Henriques J. F., Caseiro R., Martins P., Batista J. High-Speed Tracking with Kernelized Correlation Filters // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, http://www.robots.ox.ac.uk/~joao/publications/henriques_tpami2015.pdf
- [3]. Murphy K. P. Models for Generic Visual Object Detection // Technical report, Department of Computer Science, University of British Columbia, Vancouver, Canada, May, 2005. 8 p.
- [4]. Viola P., Jones M. Robust Real-Time Object Detection // Intl. J. Computer Vision. 2004. Vol. 57(2). P. 137–154.
- [5]. Andrey Tevyashev, Igor Shostko, Mihail Neofitniy, Anton Koliadin Laser Opto-Electronic Airspace Monitoring System in the Visible and Infrared Ranges // IEEE 5th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments, APUAVD, 2019 KHAY C 127-129. DOI: 10,1109 / APUAVD47061.2019.8943887
- [6]. Johnson J. Analysis of Image Forming Systems. Image Intensifier Symposium, Fort Belvoir, VA, 6–7 October 1958.
- [7]. Chen X., Schmid N. On the Limits of Target Recognition in the Presence of Atmospheric Effects. Lane Department of Computer Science and Electrical Engineering West Virginia University, Morgantown, 2007.
- [8]. Wilson D. Image based contrast-to-clutter modeling of detection. US Army CECOM NVESD, 10221 Burbeck Rd., STE 430 Ft. Belvoir. 1999.

Concepts and Methods of the Fractal Approach in Science Education: Innovative Technology and Computer Modeling

Nataliya Yurkovych
dept. Solid State Electronics & Information Security
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
nataliya.yurkovych@uzhnu.edu.ua

Vladimir Seben
dept. Physics, Mathematics & Technics University of
Presov
Presov, Slovakia
vladimir.seben@unipo.sk

Mykhaylo Mar'yan
dept. Solid State Electronics & Information Security
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
mykhaylo.maryan@uzhnu.edu.ua

Andrea Klucarova
dept. Physics, Mathematics & Technics University of
Presov
Presov, Slovakia
andrea.klucarova@smail.unipo.sk

Концепції і Методи Фрактального Підходу в Освіті: Інноваційні Технології та Комп'ютерне Моделювання

Наталія Юркович
кафедра твердотільної електроніки та інформаційної
безпеки
Ужгородський національний університет
Ужгород, Україна nataliya.yurkovych@uzhnu.edu.ua

Владімір Шебень
кафедра фізики, математики та техніки
Пряшівський університет
Пряшів, Словаччина
vladimir.seben@unipo.sk

Михайло Мар'ян
кафедра твердотільної електроніки та інформаційної
безпеки
Ужгородський національний університет
Ужгород, Україна
mykhaylo.maryan@uzhnu.edu.ua

Андреа Ключарова
кафедра фізики, математики та техніки
Пряшівський університет
Пряшів, Словаччина
andrea.klucarova@smail.unipo.sk

Abstract— At the present stage of the development of science education and information technology, their integration, complementarity and implementation are extremely important. Therefore, the search of methods of teaching natural sciences, based on the principles of self-organization and computer modeling, corresponds to the immediate tasks of the present.

In the present paper the iterations of a fractal structure on the example of studying physics sections, “Geometric optics” and “Wave optic” elaborated. It is shown that each iteration is characterized by a synergy - adding new iteration provides a qualitative perception of the new information. The possibility of using this approach in other sections of natural sciences, and research fields related to physics has been demonstrated. It manifests the formation of a fractal structure and the corresponding iterations, reflecting the integrity and spontaneity of information perception. Based on the proposed synergetic approach to the use of subject areas of knowledge and computer modeling, the fractal structure is formed on an intuitive level. The functioning of this structure

manifests itself in a qualitative transition to self-sufficiency of students, which involves the use of a creative approach and the desire to apply the received information in radically new fields. Possibilities of realization of results on studying of physical processes both in different branches of education and science, and at research of synergetic principles of functioning of information systems are presented. The proposed approach can also be used in the development of systems for processing and transmission of information, intelligent information materials, artificial intelligence.

Анотація— На сучасному етапі розвитку освіти та інформаційних технологій їх інтеграція, взаємодоповнюваність та реалізація є надзвичайно важливими. Тому пошук методів викладання природничих наук, заснованих на принципах самоорганізації та комп'ютерного моделювання, відповідає найближчим завданням сьогодення. У цій статті представлені розроблені ітерації фрактальної структури на прикладі вивчення

розділів фізики, “Геометрична оптика” та “Хвильова оптика”. Показано, що для кожної ітерації характерна синергія - додавання нової ітерації забезпечує якісне та поглиблене сприйняття нової інформації. Продемонстрована можливість використання цього підходу в інших розділах природничих наук та наукових галузях, пов'язаних з фізикою. Вона виявляє формування інтегрованої фрактальної структури та відповідних ітерацій, що відображають цілісність та спонтанність сприйняття інформації. На основі запропонованого синергетичного підходу до використання міжпредметних областей знань та комп'ютерного моделювання фрактальна структура формується на інтуїтивно зрозумілому рівні. Функціонування цієї структури проявляється у якісному переході до самодостатності учнів, що передбачає використання творчого підходу та прагнення застосувати отриману інформацію в радикально нових сферах. Представлені можливості реалізації результатів при вивченні фізичних процесів як у різних галузях освіти і науки, так і при дослідженні синергетичних принципів функціонування інформаційних систем. Запропонований підхід також може бути використаний при розробці систем обробки та передачі інформації, інтелектуальних інформаційних матеріалів, штучного інтелекту.

Keywords—computer modeling, fractal approach, self-organizing processes, synergetics, teaching natural sciences, information processing and transmission systems, artificial Intelligence.

Ключові слова—комп'ютерне моделювання, фрактальний підхід, процеси самоорганізації, синергетика, викладання природничих наук, системи обробки та передачі інформації, штучний інтелект.

I. INTRODUCTION

Innovative teaching of natural sciences and computer modeling of natural phenomena, as well as the application of these methods by teachers, are the focus of special attention in scientific literature [1]. However, special training of future teachers on numerical modeling of natural phenomena, bibliographic data in the pedagogical literature, as well as in educational practice are encountered less. For example, the curriculum of training future teachers of physics in all five Slovakian universities does not contain this subject. Students and future teachers can get acquainted with the problem of computer modeling of natural phenomena while studying special subjects such as “Digital Technologies in Teaching Physics”, “Computer Information Technologies in Physics”, “Computing in Physics”. A similar situation with mastering these methods is observed in other universities [2, 3].

In the process of teaching natural sciences, attention is focused on a significant amount of material and its unstructured character, insufficient relationship and correlation with other disciplines and practical application. It points to the need for information perception in higher educational establishments, especially in teaching natural sciences at an intuitive level, using visualization means, modern advances in programming – object-oriented programming [2, 4]. The aim of the investigation was the implementation of the educational experiment based on the positive impact of the applied measures aimed at creating the optimal object of professional competence of future natural sciences teachers. The study objective was to determine the impact of implementing innovative approaches on the

willingness and interest of future teachers to independently conduct computer simulations of natural phenomena [5, 7].

II. MATERIALS AND METHODS RESEARCH

At the present stage in the process of mastering the sciences and technologies in the higher education establishments, considerable attention is mainly focused on a significant amount of material and its unstructured nature, insufficient interconnection and correlation with other disciplines and their practical application [3, 4]. This indicates to the need for the presentation and perception of information on an intuitive level, using visualization tools, modern advances in information technology, especially computer modeling and object-oriented programming. There is a relationship between the different branches of education, science, technology and their very sections that can be demonstrated using a fractal approach [2, 3]. This means that in teaching one of the sections (subsections), an algorithm can be determined that is produced and realized in the following sections and, thus, a complex structure is formed while maintaining the integrity of material perception using computer modeling. It is important to note that the formation of this and subsequent iterations retain the “algorithm” of the fractal structure incorporated for the previous iteration that ensures the self-sufficiency and localization of perception. Use is essential of the computer modeling, which determines the cross-cutting nature and the spontaneity of the material presentation, the features of object-oriented programming languages developed on the principles of encapsulation, inheritance and polymorphism. Because of this, each iteration makes use of the properties of the previous one, and, at the same time, it must contain new information (property, method) [2-4].

A fractal is a informational branched or dispersed structure, whose dimension is different from that of an integer [4, 5]. There are geometric, algebraic and stochastic fractals (Fig.1). One of the properties of fractals is self-similarity on spatial and temporal scales, which predetermines the usage of one algorithm in the formation of complex structures with a minimum dissipation of energy [3, 4]. This testifies to the expediency of their application in the teaching of educational sciences, which is not sufficiently developed and argued at the present stage.

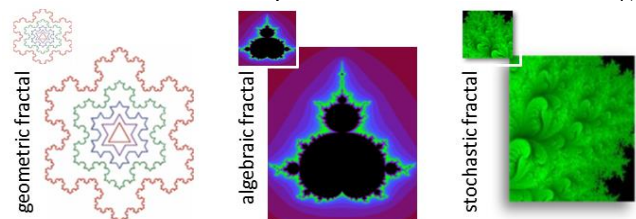


Fig.1. The example of fractal structures (geometrical fractal — Koch's snowflake, algebraic fractal — Mandelbrot's set, stochastic fractal — flow of bubbles) [5]

It applies the environment of the visual programming, Delphi, and the algorithmic programming language, Object Pascal, which is built on the principles of object-oriented programming and the latest information technologies [3, 4]. In computer modeling, along with the use of Object Pascal other object-oriented languages such as C++, Java, and Ruby, can be used. The educational experiment involved students of two universities: Uzhhorod National University (Uzhhorod, Ukraine) and the University of Presov (Presov, Slovakia).

Control groups consisted of 10-18 students. Upon the completion of the students' studies, the test control was conducted, which aimed to find out changes in the knowledge and skills of students after the implementation of the offered approach. A part of the test questions were aimed at ascertaining the interest of students towards the further study of computer modeling of natural phenomena.

III. RESULTS OF RESEARCH

The iterations of the fractal structure on the example of studying physics sections, "Geometric optics" and "Wave optic" with integrated use of features geometric, algebraic and stochastic fractals we have elaborated. Development of the fractal structure is shown on Figs. 2-4.

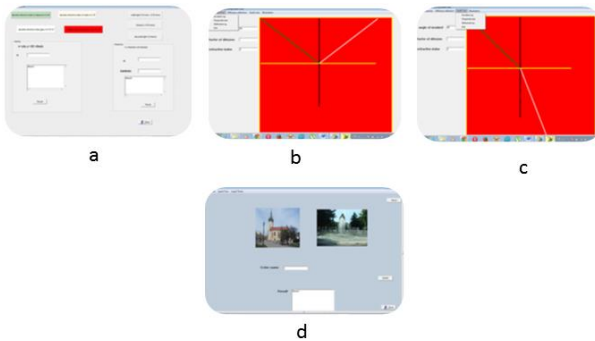


Fig. 2. An example of a branch fractal structure: computer model simulation of the Snell's laws

An example of the laws of reflection and refraction of light, the Law of Snell's is shown in Fig.2. The branch contains numerical calculations and computing of optical parameters (Fig.2, a), 2-5 steps of computer modeling with the visual interface in the environment Delphi (Fig.2, b-c), testing of perception of information (Fig.2, d). The algorithm includes the features of computer modeling of the light propagation process at the interface of two environments, and is further used for the following phenomena (steps), forming a more complex but internally self-sufficient fractal structure. In the course of the lecture students consider the basic laws of geometrical optics and types of light reflection: mirror (parallel light rays remain parallel after reflection (smooth even surfaces) and diffuse (parallel rays after reflection are scattered in all directions (rough uneven surfaces) with the immediate transition to computer modeling. After consideration of these laws in the environment of visual programming Delphi, the students create the interface (Fig.2): students have the opportunity to directly modify the parameters of the optical system (angle of incidence, refractive index, the factors of reflectivity and diffuseness), means of visualization of the rays in Delphi environment (colors of the incident and reflected rays, types of lines) and become active self-sufficient participants in conducting computer experiment. It is important to develop the algorithm of information perception by students on the intuitive level that will be used and developed further in later iterations (lectures).

Similarly, the following branches of the physics section "Geometric optics" are considered:

- The total internal light reflection. It is important to note that the formation of this and subsequent iterations retain the "algorithm" of the fractal structure incorporated for the previous iteration that ensures the integrity, self-sufficiency and localization of perception. It is important to use computer modeling, which determines the cross-cutting nature and the

spontaneity of the material presentation, the features of object-oriented programming languages developed on the principles of encapsulation, inheritance and polymorphism. Because of this, each iteration makes use of the properties of the previous one, and, at the same time, it must contain new information (property, method)—in this case, the possibility of directional light propagation.

- Determination of light transmittance of a thin film taking into account multiple reflections and using the methods of approximation and computing (Figs.3, 4).
- Wave Optics.
- Using the Internet, developing Web pages.
- Other next branches.

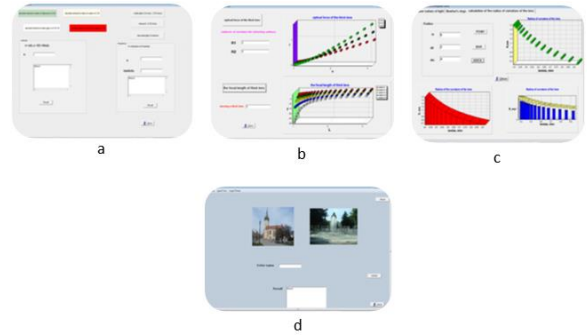


Fig.3. The branch of a fractal structure: visual interface of the modeling optical power and focal distance of a thick lens (a is numerical calculations of optical parameters, b-c are the modeling of optical parameters, d is testing of perception of information)

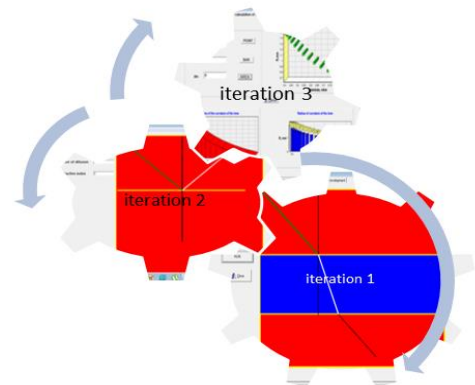


Fig.4. The visual interface of modeling optical parameters and iteration procedure

Each iteration (section of physics) is characterized by a synergy - adding new iteration provides a qualitative perception of the information (without a mechanical outside introduction of the division according to themes), the formation of the integrity in which the student becomes an active participant. This synergy creates a unique fractal structure, capable of development and functioning. The iteration discussed above can be complemented and developed, in particular by involvement of learning using the testing tools, the exchange of information using the Internet, that is, the process generates and allows an infinite number of steps, which is essential for fractal structures [5,6].

Based on the presented approach of the joint synergetic usage of lectures on physics and computer modeling, the fractal structure is formed on an intuitive level. Functioning of this structure is manifested in the transition to the presence of students' self-sufficiency, involving the use of creative approach and the desire to apply the obtained information in radically new areas and the hyper sensibility. For example, the phenomenon of total internal reflection along with the classical perception of physics as a process of dissemination

of information are transistor and diode effects, cloud technologies (Informational and Technological Sciences), preparing a hamburger, croissant, cupcake (Technological Science), the Belousov-Zhabotinsky reaction with the formation of dancing rhythms Latin Dance, Greek Syrtaki, Slovakian Folk Chardash, German Folk Dances (Humanities Science).

IV. DISCUSSION

Thus, a fractal structure in teaching one of the sections of physics, “geometrical optics,” is formed (it can be easily spread to other branches of physics). The advantages of this approach are obvious: the corresponding physics section is perceived as a single unit without the mechanical separation into its component parts; and the possibility of forming branched structures according to a single algorithm that can be extended to other branches of physics, while maintaining the integrity (fractality) at the level of several sections. It should be noted that unlike the classical approach, which is based on the assimilation of a certain amount of material, the fractal connections reflect the internal structure of the sections that are assigned spontaneously.

The offered fractal approach was tested in Uzhgorod National University (Ukraine) for students at the Faculty of Physics and the University of Preshov (Slovakia) for students of humanities and natural sciences at the Department of Physics, Mathematics and Technology. The study carried out the evaluation of the quality of training the discipline “Programming and mathematical modeling” for students according to the specializations “physics teacher”, “applied physics” (Fig. 5, 6). That is, the obtained dependence in Figs. 5, 6 is not accidental; it is naturally manifested owing to the fractal approach of teaching physics processes.

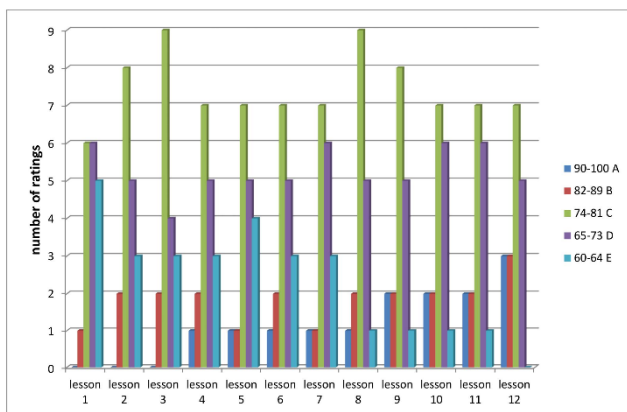


Fig. 5. The diagram of the dependence of assessment ratings of the students in 2015/2016 academic year

The research in Preshov University was conducted in 2015-2016, 2016-2017 academic years. The experiment involved 10-12 students in the study subject “Methods of teaching physics” including computer modeling of physics sections “Geometrical optics”, “Wave optics”. The conducted rating control indicates the students’ interest in computer simulation used in teaching physics in 88-93% of future physics teachers and the increase in their level of mastering material by 9-11%.

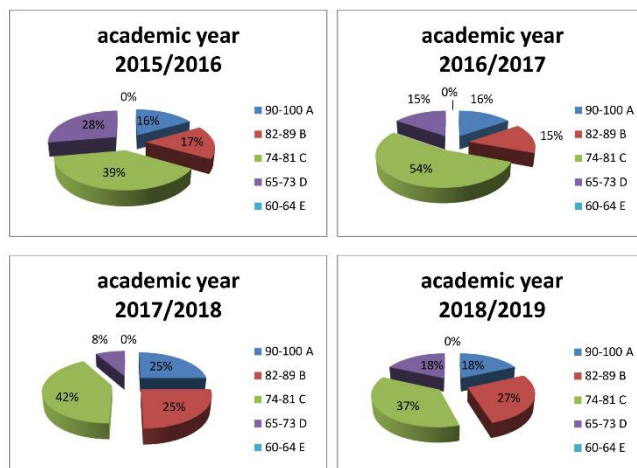


Fig.6. The diagram of academic performance in the study discipline “Programming and mathematical modeling” for 2015 / 2016 - 2018 / 2019 academic years

During these classes, the activation of students, and in-depth perception of the material have been noted [6-8].

CONCLUSIONS

The fractal approach to teaching natural sciences using computer modeling in object-oriented programming, Delphi, Java has been substantiated. The formation of a fractal structure has been established and the iteration has been determined, which reflect the integrity and spontaneity of presenting information. The involvement of students of related majors in two universities - Uzhhorod and Presov - demonstrates the feasibility of using fractal approach in preparing future teachers of natural sciences in higher educational establishments.

REFERENCES

- [1]. Mar’yan, M., Seben, V. & Yurkovych, N. Synergetics of Computer Modeling, Research and Technology Education. Concepts&Methods. Riga: Lambert Academic Publishing, 2018.
- [2]. Yurkovych, N., Seben, V. & Mar’yan, M. Computer modeling and innovative approaches in physics: optics. - Presov: Prešovska univerzita v Prešove, 2017 .
- [3]. Yurkovych, N., Seben, V. & Mar’yan, M. “Fractal approach to teaching physics and computer modeling. Journal of Science Education”, vol.18, No 2, pp.117-120, 2017.
- [4]. Yurkovych, N., Mar’yan, M. & Seben, V. Synergetics of the instability and randomness in the formation of gradient modified semiconductor structures. Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics, vol. 21, No 4, pp.365-373, 2018.
- [5]. Frame, M.L. & Mandelbrot, B.B. Fractals, Graphics, and Mathematics Education, New York: Wiley, 2002.
- [6]. Mar’yan, M., Seben, V. & Yurkovych, N. Synergetics and fractality in teaching natural sciences. - Presov: Prešovska univerzita v Prešove, 2018 .
- [7]. Yurkovych, N., Mar’yan, M. & Seben, V. Synergetics of the science education and innovative teaching. - 24th Conference of Slovak Physicists Proceedings. Published: Slovak Physical Society, EQUILIBRIA, s.r.o., Košice, 2019, pp. 91-92.
- [8]. Yurkovych N., Mar’yan M. & Seben V. Fractality and innovative concepts of teaching natural sciences at higher educational institutions and universities. XVII International Freik Conference on the Physics and Technology of Thin Films and Nanosystems ICPTTFN- XVII. May, 20-24. Ivano-Frankivsk, Ukraine. 2019, p. 361.

СЕКЦІЯ 2.

**Інформаційні технології в соціумі, освіті,
медицині, економіці, управлінні, екології
та юриспруденції**

SECTION 2.

**Information technologies in society, education,
medicine, economics, management, ecology
and law**

Модель та Додаток для Визначення Індикаторних Характеристик Профілів Користувачів Соціальних Мереж

Олег Бісікало

Факультет комп'ютерних систем і автоматики
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
obisikalo@gmail.com

Антон Концевой

Кафедра автоматизації та інтелектуальних
інформаційних технологій
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
anton.96k@gmail.com

Model and Application for Definition of Indicator Characteristics of Social Networks Participants Profiles

Oleg Bisikalo

Faculty of computer systems and automation
Vinnytsia National technical university
Vinnytsia, Ukraine
obisikalo@gmail.com

Anton Kontsevoi

Department of automation and intelligent information
technologies
Vinnytsia National technical university
Vinnytsia, Ukraine
anton.96k@gmail.com

Анотація—Розроблено та апробовано на реальних текстових прикладах і даних підхід, що реалізує процес автоматизованого визначення індикаторних характеристик профілів учасників соціальної мережі, а також визначення реакції цих учасників соціальної мережі на певні події. В основу підходу закладено алгебраїчну модель конструювання образу розв'язання проблемної ситуації як імітацію феноменів ансамблю образів, вектора емоцій, фокусу уваги та орієнтувального рефлексу людини. Розроблений програмний додаток показав, що запропонований підхід значно покращив точність та обсяг характеристик профілів учасників популярної соціальної мережі Twitter та може бути покращений шляхом комбінації різних моделей та технологій обробки природних мов.

Abstract—The approach that implements the process of automated determination of indicator characteristics of social network profiles, as well as determining the response of social network participants to certain events has been developed and tested on the real text examples and data. The approach is based on an algebraic model of constructing an image of solving a problem situation as an imitation of the phenomena of the ensemble of images, the vector of emotions, the focus of attention and the orienting reflex of a human. The developed software application showed that proposed approach has substantially

improved the accuracy and the amount of the characteristics of user profiles inside the Twitter popular social network and can be improved by combining different models and technologies of natural language processing.

Ключові слова— соціальна мережа, профілі учасників, показники, класифікація користувачів, підхід, модель, асоціативне образне мислення, андроїд, мобільний додаток

Keywords—social network, participants profiles, indicators, users classification, approach, model, associative imaginative thinking, android, mobile application

I. ВСТУП

Соціальні мережі вважають безумовно актуальним напрямком досліджень в галузі комп'ютерних наук, оскільки дійсно важлива інформація для більшості людей на планеті вже існує в цифровій формі. Розглянемо підхід до визначення індикаторних характеристик профілів учасників соціальних мереж (СМ) на основі моделювання деяких узагальнених образів. Зазвичай збір даних для розв'язку такої та подібних задач шукають шляхом 1) визначення множини значимих (індикаторних) характеристик споріднених об'єктів (профілів учасників

СМ), 2) отримання значень таких характеристик для одного об'єкту, 3) накопичення статистики значень для всіх об'єктів, що досліджуються. Наступний, 4-й етап має забезпечити отримання корисних знань зі статистичних даних тими чи іншими методами – наприклад, статистичного аналізу, машинного навчання, зокрема глибокого навчання тощо. У результаті отримують розбиття первинної множини об'єктів на певні класи або категорії [1]. Вибір та ефективність того чи іншого методу залежить, як правило, від складу та типів даних, що аналізуються.

Скористуємося тим, що значна частина індикаторних характеристик профілів учасників СМ задається вербально, тобто належить до множини слів деякої природної мови. Ідея підходу, що пропонується, полягає у застосуванні лінгвістичних методів аналізу множини слів, які характеризують окремий профіль учасника СМ з метою отримання лаконічного природно-мовного опису цього учасника, зрозумілого для людини. Формалізуємо поставлену задачу за допомогою моделі асоціативного образного мислення людини, уперше запропонованої у [2], зокрема імітуючи процеси розв'язування людиною деякої проблемної ситуації.

II. ФОРМАЛЬНА МОДЕЛЬ

Предметом формалізації будемо вважати певні мнемонічні процеси, властиві людині. У роботі [3] з метою формального розв'язку такого класу задач запропоновано застосувати алгебраїчні моделі образного механізму оперативної пам'яті штучної лінгвістичної системи (ШЛС). Актуальною задачею у розвиток моделі [3] є визначення та деталізація образу-рішення проблемної ситуації шляхом використання групи формальних операцій до ансамблю образів та моделювання орієнтувального рефлексу людини. Вперше алгебраїчний розв'язок цієї задачі було отримано у [4], де розглядалися процеси узагальнення вербальної інформації в єдине ціле.

В термінах моделі образного мислення базова операція синтезу забезпечує за Виготським [5] вплив (влиття) сенсу певної події чи ситуації в один образ. Така операція відбувається в оперативній пам'яті людини, зокрема на основі вербальних ознак образів, якщо подія (ситуація) стали відомими через текстовий опис. Наприклад, редактор газети читає новину про якусь подію і має надати повідомленню власну назву – стислу, але яскраву та привабливу для читача.

Покажемо принципову можливість конструювання образу розв'язування у межах моделі механізму оперативної пам'яті [4]. Будемо вважати, що попередньо N вербальних образів-претендентів вже відібрано у стек пам'яті *Check-Set*. Тоді необхідно остаточно визначити складові вектору емоцій *Vector-Set* (інакше – такі вербальні образи, які відповідають позитивним ознакам ситуації) та вибрати один образ з N з найбільшою вагою. Формальною постановкою задачі конструювання образу розв'язування проблемної ситуації вважатимемо

$$\begin{aligned} & \text{Check-Set, Vector-Set} \rightarrow \text{Focus-Bi} / \\ & \text{Focus-Weight} = \text{Max}(\text{Weight}_i), \end{aligned} \quad (1)$$

де *Focus-Bi* – бінарний код образу у фокусі уваги; *Focus-Weight* – вага асоціативних зв'язків образу у фокусі уваги з образами-складовими вектора емоцій *Vector-Set*; *Weight* – вага асоціативних зв'язків i -го образу ансамблю образів (АО) з образами *Vector-Set*.

Формально синтез або конструювання образу розв'язування будемо шукати у вигляді оператора *InsZX* відповідно до нотацій з [6, 7]. Головними джерелами інформації для моделі є короткі тексти користувачів СМ, причому згідно з [4] використовуємо такі позначення:

- *Bi-Vector_i* – бінарний код i -го образу вектору емоцій *Vector-Set*;
- *Bi-OM* – бінарний код АО оперативної пам'яті.

Зрештою оператор *InsZX* (рисунок 1) запускає відповідний механізм конструювання образу розв'язування *OM-Change-Vector* та подає його результати на вхід моделі орієнтувального рефлексу *Orient-Reflect* з [4]:

$$\text{InsertZX} ::= \text{OM-Change-Vector} * \text{Orient-Reflect} \quad (2)$$

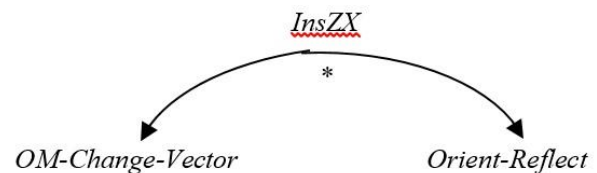


Рис. 7. Граф-схема оператора конструювання образу розв'язування проблемної ситуації *InsZX*.

Отже, на основі формального погляду на феномени ансамблю образів, вектора емоцій, фокусу уваги та орієнтувального рефлексу показано можливість конструювання образу розв'язання проблемної ситуації засобами алгебраїчної системи з [4]. Основним джерелом інформації для моделі служить текстовий опис проблемної ситуації, за яким визначають її особливості. Запропонований підхід до побудови оператора *InsZX*, на відміну від робіт [8, 9], використовує як основне джерело інформації лише текстовий опис проблемної ситуації, що визначає її особливості. Запропонований підхід базується на вже відомих моделях [3, 4] та забезпечує інваріантне подання змісту короткого опису ситуації, що доводиться на основі наскрізного тестового прикладу з [10].

III. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ДОДАТКУ ТА АПРОБАЦІЯ ПІДХОДУ

Пропонується новий програмний додаток на основі моделі для визначення та деталізації образу-рішення проблемної ситуації. Програма виконує завдання аналізу реакцій користувачів соціальної мережі Twitter на актуальні новини, а також визначення індикаторних характеристик профілів учасників цієї популярної СМ.

Отриману розробку планується використовувати для збору статистичної інформації про реакцію користувачів на подію, що відбувається в режимі реального часу, а також для аналізу індикаторних характеристик профілів користувачів мережі. Мета – проаналізувати доступну статистичну інформацію та відобразити її у вигляді гістограм та таблиць. Збір, аналіз та обробка даних відбувається на самому пристрої, що підвищує безпеку даних, з якими користувач працює [11].

Як і переважна більшість програм для Android, програмний додаток складається з графічного інтерфейсу та інших прикладних ресурсів (графічних, текстових та звукових ресурсів), а також ділової логіки програми. Для налаштування параметрів доступу для API соціальної мережі Twitter було використано такі ключові пари значень:

- consumer key;
- consumer secret;
- access token;
- access secret.

Ці значення використовуються при надсиланні запитів на сервери соціальної мережі, вони необхідні для процесу збирання інформації і доступні при наявності облікового запису користувача з правами розробника на Twitter. Ці параметри є унікальними для кожного користувача та дозволяють ідентифікувати його програму при доступі до даних на сервері [12].

Взаємодія користувача з програмою починається з головного екрану. У центрі екрану є поле введення, куди користувач може ввести псевдонім користувача, профіль якого він хоче проаналізувати, або хештег, до якого додається деяке обговорення в мережі. Псевдонім слід вводити із використанням символу "@" перед ним без пробілів між словами. Якщо необхідно проаналізувати реакцію на новини, користувач вводить відповідний хештег, починаючи з символу введення "#".

У відповідь на введення ім'я користувача або хештегу, система спочатку викликає API Twitter. Відповідний модуль програми надсилає блоки на сервер, використовуючи попередньо вказані параметри доступу, а також запит користувача. Сервер повертає дані у форматі JSON. На етапі розбору кожної реакції користувача текст відповідного повідомлення (твіт) витягується і ділиться на лексеми, після чого ці лексеми додаються до списку лексем. Далі програма визначає імена людей, місцеположення та дати, які містяться в тексті твітів,

використовуючи бібліотеку API визначення іменованих об'єктів Apache OpenNLP.

Потім за допомогою API Chunker програма вибирає ключові слова та фрази (набори слів, поєднаних за значенням та граматично) у текстах твітів. Щоб ця функція працювала, програмі потрібен перелік лексем, а також результат API POS Tagger, завданням якого є визначення частин мови для кожного слова вхідного тексту. Це дозволяє визначити слова та фрази, пов'язані за значенням у тексті, що в кінцевому результаті допоможе визначити реакцію конкретного користувача на подію в мережі, а також загальну реакцію користувачів.

Для апробації додатку, вхідними даними для аналізу було обрано відгуки користувачів у СМ Twitter щодо подій у мережі, об'єднаних тегом "#ukraine". Для проведення дослідження було зібрано 1500 відповідей користувачів англійською мовою, оскільки модель розпізнавання налаштована на англійську мову та існують обмеження API Twitter. На рисунку 2 показано результати аналізу реакцій користувачів на відібрані події в мережі.



Рис. 1. Результати аналізу реакцій користувачів на відібрані події в СМ.

Користувач може взаємодіяти з графіками, збільшуючи масштаб і прокручуючи їх, щоб побачити всі дані. Під час опрацювання результатів аналізу реакцій користувачів програма визначила п'ять найпоширеніших імен у тексті твітів, якими виявилися "Donald Trump", "Joe Biden", "Rudy Giuliani", "Vladimir Putin", "Volodymyr Zelensky" (рисунк 3).

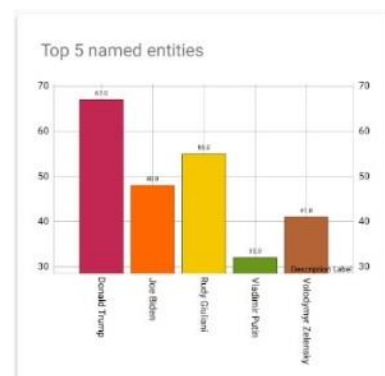


Рис. 2. Діаграма найбільш поширених імен, що зустрічаються у текстах твітів.

Застосування Named Entity Recognition API дозволило виділити назви місць у тексті твітів, у даному випадку – назви найбільш згадуваних країн. Варто мати на увазі, що, незважаючи на високу точність отриманих результатів, модель може не визначати назви маловідомих міст, що може бути проблемою при аналізі більшої кількості "локальних" подій у мережі. На рисунку 4 показана кругова діаграма із зазначеними місцями.



Рис. 3. Кругова діаграма із назвами найбільш згадуваних країн.

Потрібно відзначити, що підхід із використанням токенизації, POS тегів та інтерфейсів API дає набагато більшу точність та більшу семантичну значущість результатів порівняно з відомим методом токенизації та застосування кортежів з парами ключових слів текстів. Запропонований підхід до аналізу даних добре працює з англійською мовою, яка підтримує строгий порядок слів у реченні, тому існує велика ймовірність знаходження зв'язків між знайденими словами та фразами.

Для вивчення та аналізу профілю учасника соціальної мережі було обрано профіль діючого президента США Дональда Трампа, а також його твіти загальною кількістю 2500 штук. Цей показник є не досить представницьким для реального аналізу, оскільки охоплює лише невелику кількість останніх твітів Трампа, що обмежено обмеженнями API Twitter. На рисунку 5 показано приклад результатів аналізу даних профілю учасника СМ Twitter.



Рис. 4. Приклад аналізу даних профілю діючого президента США.

IV. ЗАКЛЮЧЕННЯ

У статті запропоновано формальний підхід та програмний додаток для автоматизованого визначення індикаторних характеристик профілів соціальної мережі, а також визначення реакції учасників соціальної мережі на певні події. На основі формального погляду на феномени ансамблю образів, вектора емоцій, фокусу уваги та орієнтувального рефлексу показана можливість побудови образу розв'язання проблемної ситуації за допомогою алгебраїчної системи.

Для розробки програмного забезпечення та досягнення мети дослідження було обрано мову програмування Kotlin через простоту її використання під час створення додатків для Android, а також бібліотеку Apache OpenNLP для парсингу даних про новини та користувачів СМ. Архітектура та основні модулі запропонованого додатку були розроблені та протестовані на реальних текстових прикладах. Отримані результати засвідчили помітне покращення точності та обсягу характеристик профілів користувачів популярної соціальної мережі Twitter.

На думку авторів, подальшим розвитком тематики дослідження є вивчення різних моделей обробки природних мов, які можуть бути використані як база запропонованої ШЛС для визначення індикаторних характеристик профілів учасників соціальних мереж.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning*. Springer Science+Business Media, NY, 2013.
- [2]. O.V. Bisikalo, S. Cieszczyk, G.Yussupova, "Solving problems on base of concepts formalization of language image and figurative meaning of the natural-language constructs", in *Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications*, 2015, 98161U, Dec 2018.
- [3]. O. Bisikalo, Y. Ivanov, N. Karevina, "Encoding of Natural Language Information on the Basis of the Power Set," in *Proceedings of the 2018 IEEE, 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*, Lviv, Ukraine, 2018, pp. 17-20.
- [4]. O. Bisikalo, Y. Ivanov, V. Sholota, "Modeling the phenomenological concepts for figurative processing of natural-language constructions" in *CEUR Workshop Proceedings*, vol. 2362, pp. 1–11, 2019.
- [5]. L. Vygotskii, *Thought and language*. MIT press, Cambridge, MA, 2012.
- [6]. K. Lund, C. Burgess, C. Audet, "Dissociating semantic and associative word relationships using high-dimensional semantic space," *The 18th Cognitive Science – COGSCI*, in *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol.27, issue 5, Washington, USA, 1996, pp. 603-608.
- [7]. D. Eisenbud, *Commutative Algebra with a View Toward Algebraic Geometry*. Springer-Verlag, New York, NY, 1995.
- [8]. M.J. Zaki, "Scalable algorithms for association mining" *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 12, issue 3, Los Alamitos, USA, 38 p., May/June, 2000.
- [9]. I. de las Penas Cabrera, "A note on the envelopes of an associative pair" *Communication in Algebra*, vol. 32, Philadelphia, USA, 2004, pp. 4133–4140.
- [10]. R. Mitkov, *The Oxford Handbook of Computational Linguistics*. Oxford University Press, 2005.
- [11]. V. Lee, *Mobile Applications: Architecture, Design, and Development*. Prentice Hall, 2004.
- [12]. M. Murphy, "The Busy Coder's Guide to Advanced Android Development" in *CommonsWare, LLC*, 2011.

Персоналізовані Медичні Веб-Сервіси

Г. Шевченко
К.т.н., доц.
Науковий центр Noosphere
Дніпро, Україна
she-genn@yandex.ua

О. Шумейко
Д.т.н., проф.
Дніпровський державний технічний університет
Кам'янське, Україна
Shumeiko_a@ukr.net

М. Чорненко
Науковий центр Noosphere
Дніпро, Україна

Personalized Medical Web Services

G. Shevchenko
PhD.
Noosphere Research Center
Dnipro, Ukraine
she-genn@yandex.ua

O. Shumeiko
Prof.
Dniprovs`k State Technical University
Kamenske, Ukraine
Shumeiko_a@ukr.net

M. Chornenko
Noosphere Research Center
Dnipro, Ukraine

Анотація— Розроблено та реалізовано персоналізовані медичні веб-сервіси зі скрінінгу хвороб печінки, загальної діагностики стану здоров'я та дещо інше. В основі розроблених технологій лежать нароби вітчизняних вчених-медиків. Використано методи Data Mining, дерева рішень, ліс дерев, що дозволяє отримати ефективні алгоритми оцінки стану здоров'я людини.

Abstract— Personalized medical web services for liver disease screening, general health diagnostics and more have been developed and implemented. Developed technologies are based on the achievements of national medical scientists. Data Mining methods, decision trees, and forest trees are used to obtain efficient algorithms for assessing human health.

Ключові слова— медичні веб-сервіси, скрінінг хвороб печінки, дерева рішень, Data Mining.

Keywords— medical web services, liver disease screening, decision trees, Data Mining.

I. ВСТУП

У даний час в суспільній свідомості йде злам уявлень що до ролі сучасної медицини. Цей процес прискорюється пандемією коронавірусу, що проходить на наших очах.

Однією з головних причин зламу наявної парадигми, класичним зразком якої, наприклад, є страхова медицина, є виявлена неефективність систем охорони здоров'я

практично всіх держав, які попали під пандемію. В основі неефективності лежить орієнтація систем охорони здоров'я на виявлення вже хворих людей, діагностику їх захворювань і лікування хвороби, а не на підтримку здоров'я людей. Нова парадигма, що йде на зміну традиційної, очевидним чином повинна бути орієнтована не на хворобу людини, а на її здоров'я. Відповідно, повинні бути створені і впроваджені в широку практику, особливо з урахуванням наявних в даний момент величезних можливостей Інтернету та ІКТ, сучасні системи не тільки діагностики, але також і "системи визначення та обліку стану здоров'я населення на основі оцінки адаптаційних можливостей організму" [1].

II. ОГЛЯД РОЗРОБЛЕНИХ ПЕРСОНАЛІЗОВАНИХ МЕДИЧНИХ СИСТЕМ

На нашому сайті (<https://www.sciencehunter.net>) в розділі «Медицина» представлені декілька таких систем. Одна з них називається «Прогноз» і фактично реалізує на сучасному рівні у вигляді веб-сервісу прогностичний комплекс «Віта-87», розроблений ще в СРСР і офіційно введений наказом МОЗ України в практику масових профілактичних обстежень населення [2]. Цей веб-сервіс призначений для оцінки стану здоров'я користувача і є, нехай і зовсім невеликим, прикладом парадигми охорони здоров'я, що орієнтується не так на хворобу, а на здоров'я

людини. Веб-сервіс доступний за адресою <https://www.sciencehunter.net/Services#/Медицина>.

На цьому ж ресурсі розташований і інший сервіс - комп'ютерна система ранньої диференційної діагностики найбільш поширених хронічних захворювань печінки. Ця система розроблена в рамках парадигми персоналізованої медицини - нової моделі організації медичної допомоги, що заснована на виборі діагностичних, лікувальних та профілактичних засобів, які є оптимальними для конкретного пацієнта, з урахуванням його генетичних, фізіологічних, біохімічних, поведінкових та інших особливостей [3]. Розвиток медичних аналітичних систем в рамках цього підходу пов'язаний з чіткою послідовністю виконання певних етапів на цьому шляху.

Обов'язковою вихідною частиною є описова аналітика. У нашому випадку це вибірка досить великого обсягу, верифікована досвідченими і кваліфікованими лікарями, що підтверджено актом про верифікацію даних. Зокрема, нами була отримана вибірка розміром $n = 12$, $m = 1509$, $k = 10$, де n - кількість ознак, m - кількість об'єктів (рядків), k - кількість діагнозів.

Для діагностики захворювань печінки найважливішими і найбільш інформативними є показники біохімічного аналізу крові (печінковий комплекс), загального клінічного аналізу крові (ЗАК) і особливості клінічних проявів кожного захворювання.

Біохімічний аналіз крові - метод лабораторної діагностики, що дозволяє оцінити роботу внутрішніх органів (печінка, нирки, підшлункова залоза, жовчний міхур і ін.), Отримати інформацію про метаболізм (обмін ліпідів, білків, вуглеводів), з'ясувати потребу в мікроелементах. Основні показники біохімічного аналізу крові (печінковий комплекс), які оцінюються: рівень білірубіну, аспаратамінотрансфераза (АСТ), аланінамінотрансфераза (АЛТ), лужна фосфатаза, гамма-глутамілтрансфераза і альбумін. Загальний клінічний аналіз крові (ЗАК) - лабораторне дослідження, яке включає в себе підрахунок всіх видів клітин крові (еритроцитів, лейкоцитів, тромбоцитів), визначення їх параметрів (розміри клітин та ін), лейкоцитарну формулу, вимірювання рівня гемоглобіну, визначення співвідношення клітинної маси до плазми (гематокрит).

Основні показники ЗАК, які оцінюються: швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ), кількість еритроцитів, кількість лейкоцитів, кількість тромбоцитів, рівень гемоглобіну.

Комп'ютерна система була розроблена на основі моделей, отриманих за допомогою методів машинного навчання (Machine Learning) і аналізу значень перерахованих вище показників, отриманих у більш, ніж 1500 пацієнтів, які страждають тими чи іншими захворюваннями печінки. Склад показників визначався

провідними лікарями на основі їх досвіду і кваліфікації. Всього в системі вимірюється 10 показників і робиться висновок про наявність одного з 9 видів захворювань: алкогольний гепатит, альфа-1 антитрипсинова недостатність, аутоімунний гепатит, хвороба Коновалова-Вільсона, вірусний гепатит, гемохроматоз, гепатоцелюлярна карцинома, первинний біліарний цироз, первинний склерозуючий холангіт. Система була перевірена на незалежній тестовій вибірці (більше 500 об'єктів) та показала близьке до 98% значення точності класифікації захворювання.

Відомо, що в самій печінки немає нервових закінчень і вона не болить. Це ускладнює процес виявлення захворювань на початкових стадіях. Тому дуже важливо саме на ранніх стадіях виявляти ознаки, що вказують на патологічні процеси в печінці. Звичайним є призначення загального і біохімічного аналізів крові. Саме на цьому етапі, етапі аналізу результатів первинного обстеження, вкрай бажаним є досить чітке виявлення напрямки подальшого ходу обстеження хворого, попередній діагноз, консультація досвідченого колеги. Отримана вибірка і являє собою такий концентрований досвід лікарів з високою кваліфікацією, що вилився в верифікації та описі захворювання.

Наступний етап - діагностична аналітика - пов'язаний вже більше із застосуванням математичних конструкцій, знаходженням правил, що максимально точно визначають і відокремлюють один вид захворювання від іншого. Фактично, це етап машинної діагностики, що використовує знайдені логічні закономірності, в якій відображено величезний досвід лікарів.

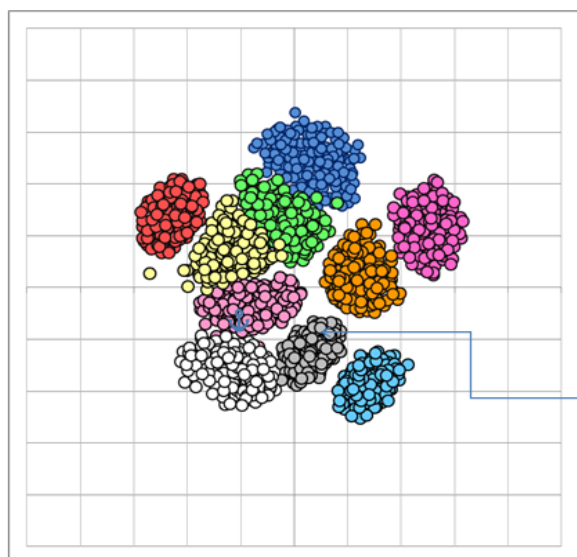
III. ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ

Для перевірки якості вибірки, її структури і збіги цієї структури з досліджуваними захворюваннями, попередньо вся вибірка перевірялася за допомогою методів візуалізації, зокрема, використовувався метод багатовимірної шкалювання, при якому багатовимірну таблицю «згортається» в двовимірну або тривимірну картинку. Для цієї мети використовувався сервіс на порталі, що розташований за адресою: <https://www.sciencehunter.net/Services/Clustering#/visualization>.

На рис.1 наведена кластерна структура вибірки що примітна з двох причин:

1. Візуалізація показує хорошу роздільність класів початкової вибірки, що дає надію на побудову функції з хорошими властивостями розподілу.

2. Подібна картинка також побічно свідчить про вдалий вибір простору ознак - це говорить, в свою чергу, про високу інтуїцію і досвід лікаря, під керівництвом якого збиралася дана вибірка. Хоча причини були іншими - використовувати дані результатів аналізів як на більш ранньому етапі.



Діагноз	№
Алкогольний гепатит	10
Альфа-1 антитрипсинова недостатність	8
Аутоімунний гепатит	2
Хвороба Коновалова-Вільсона	6
Вірусний гепатит	9
Гемохроматоз	7
Гепатоцелюлярна карцинома	5
Здорові	4
Первинний билиарний цироз	1
Первинний склерозуючий холангіт	3

б)

Рис. 1. Діагностична карта захворювань печінки за даними наявної навчальної вибірки (кожна точка є багатовимірним набором значень результатів аналізу одного пацієнта - загального аналізу крові та біохімічного аналізу крові).

Далі, відповідно з вихідними положеннями аналізу даних (Data Mining), проводилося розбиття всієї вибірки на дві частини: навчальну вибірку (НВ) і екзаменаційну вибірку (ЕВ). При цьому в НВ потрапило 2/3 спостережень, а в ЕВ 1/3 спостережень.

Функція розпізнавання будувалася згідно з НВ, а перевірялася на ЕВ. Знайдена функція розпізнавання була побудована на основі лісу дерев. Для прикладу одне з дерев представлено на рис.2.

Результати тестування лісом дерев ЕВ наведені нижче, в табл.1,2:

ТАБЛИЦЯ I. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ ЛІСУ ДЕРЕВ НА ЕВ

Кількість ЕВ:	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Кількість необроблених	6	1	3	7	6	6	1	0	3	0 (1)
Кількість вірних прогнозів:	463	491	487	472	474	464	465	492	486	496
Точність прогнозу (%):	92,6	98,2	97,4	94,4	94,8	92,8	93	98,4	97,2	99,2
Дерева	DT1	DT2	DT3	DT4	DT5	DT6	DT7	DT8	DT9	Всі дерева

ТАБЛИЦЯ II. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕСТУВАННЯ ДЕРЕВА №2 (DT2) НА ЕВ:

Клас:	1	2	3	4	4	6	7	8	9	10
Кількість об'єктів:	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Точність прогнозу в %:	92%	100%	94%	100%	100%	100%	100%	96%	100%	100%

- 1. Первинний біліарний цироз
- 2. Аутоімунний гепатит
- 3. Первинний склерозуючий холангіт
- 4. Здорові
- 5. Гепатоцелюлярна карцинома
- 6. Хвороба Коновалова-Вільсона

Ідентифікація та Механізми Подолання Розривів у Різних Типах Наукових Комунікацій

Г. Шевченко
К.т.н., доц.
Науковий центр Noosphere
Дніпро, Україна
she-genn@yandex.ua

В. Білозубенко
Д.е.н., проф.
Університет митної справи та фінансів
Дніпро, Україна
bvs910@gmail.com

О. Марченко
Науковий центр Noosphere
Дніпро, Україна
arche.oleg1@gmail.com

Identification and Mechanisms for Closing Gaps in Various Types of Scientific Communication

G. Shevchenko
PhD.
Noosphere Research Center
Dnipro, Ukraine
she-genn@yandex.ua

V. Bilozubenko
Prof.
University of Customs and Finance
Dnipro, Ukraine
bvs910@gmail.com

O. Marchenko
Noosphere Research Center
Dnipro, Ukraine
arche.oleg1@gmail.com

Анотація. Наука без комунікацій неможлива. Вільна циркуляція знань і доступ до них є важливою складовою її розвитку. Розглянуто наукові комунікації як ключовий механізм взаємодії всередині наукового співтовариства, так і механізм взаємодії науки із бізнесом, державою та суспільством.

Abstract. Science without communications is impossible. Free circulation of knowledge and access to it is an important component of its development. Scientific communications are considered as the key mechanism of interaction within the scientific community, as well as the mechanism of interaction of science with business, the state and society.

Ключові слова: наукова комунікація, комунікаційні бар'єри, веб-сервіси, адресат, канали передачі інформації, види і форми комунікації, ноосфера, віртуальні комунікації

Keywords scientific communication, communication barriers, web services, addressee, communication channels, types and forms of communication, noosphere, virtual communications

I. ВСТУП

Наука без комунікацій неможлива. Вільна циркуляція знань і доступ до них є важливою складовою її розвитку, і навіть поява самого терміна "наукові комунікації" (НК) говорить про їх значну роль в розвитку науки. З метою подальшого викладу важливо уточнити визначення НК: під науковою комунікацією будемо розуміти ті процеси комунікації, в яких адресантом (відправником) виключно є представник наукового співтовариства і тільки він. Потрібно відзначити, що подібні комунікації, в яких представник науки є адресантом (відправником), відбуваються не тільки всередині наукового співтовариства, а й з адресатами (одержувачами), інституцій, що представляють різні верстви суспільства. І в кожному випадку НК носять свій характер, розрізняються

залежно від типу відповідної інституції. Це свідчить про те, що існують різні типи НК і цей факт суттєво впливає на розвиток науки і суспільства в цілому. На них, в свою чергу, накладаються різні форми (канали передачі) здійснення такого роду комунікацій. При цьому потрібно зазначити, що поряд з усталеними, виникли і почали застосовуватися нові форми НК, засновані на використанні інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), особливо Інтернету.

Глобалізація, в тому числі і науки, а також зростання і всебічне використання ІКТ тільки посилили інтерес до цієї тематики і викликали ряд питань [2, 3]. Значною мірою, ці питання висвітлені в публікаціях [1, 2, 5]. В роботі [5] зазначено, що ключовими учасниками НК можна назвати чотири головні групи соціуму: наука, держава, бізнес і суспільство.

Природно, в цьому випадку, між учасниками НК з різних причин неминуче виникають проблеми взаєморозуміння, що перешкоджають не тільки веденню діалогу, що представляє саму суть НК [7], але, в ряді випадків, навіть його появи, і які можна назвати комунікаційними розривами або бар'єрами. Саме ці розриви не дають сучасному суспільству скористатися всіма перевагами наукового знання.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Вищесказане визначило подальший хід аналізу, в результаті якого було виділено 2 основні групи напряму проведення досліджень в НК. Перша група стосується адресатів НК, друга група стосується форми реалізації (каналів передачі) НК, в якій представлена ця сама сутність НК і яка нерозривно пов'язана з адресатом.

У першій групі можна виділити наступні напрямки адресатів НК [5]: Science to science (S2Sci), Science to government (S2Gov), Science to business (S2B), Science to society (S2Soc). Що стосується форми реалізації (каналів передачі) НК, то, виходячи з проведеного аналізу, ми пропонуємо виділити стандартні, усталені форми НК [6] до появи сучасних ІКТ і, в зв'язку з широким розповсюдженням і збільшенням «ваги» ІКТ, віртуальні НК, тобто ті, де широко використовуються ІКТ [4].

З урахуванням сказаного представляється доцільним узагальнити на основі принципу сходження від абстрактного до конкретного ці дві групи НК таблицею 1, у якій також приведена оціночна характеристика НК за ступенем розвиненості з розбивкою по таким градаціях: "не розвинена", "погано розвинена", "розвинена", "добре розвинена", "відмінно розвинена". Ці оцінки дані на підставі вивчення різних матеріалів по НК, частково наведених у вищезазначених публікаціях.

ТАБЛИЦЯ I. Стан розвитку НК.

	Стандартний вид НК	Віртуальний вид НК
S2Sci	відмінно розвинена	погано розвинена
S2Gov	добре розвинена	не розвинена
S2B	погано розвинена	не розвинена
S2Soc	розвинена	погано розвинена

Отримана таблиця узагальнює зазначені групи НК і показує наявність комунікаційних розривів тієї чи іншої глибини при взаємодії адресанта з адресатами НК при використанні різних форм (каналів) такої взаємодії.

III. ШЛЯХИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ

Структурований аналіз розривів і механізмів подолання цих розривів наведені в таблиці 2. Аналіз вищенаведеного матеріалу призводить до висновку що, залишаючись в рамках НК різних груп, для подолання комунікаційного розриву необхідне формування для них єдиного комунікаційного простору (КП). Структура такого КП обговорювалася і була докладно описана в [7]. У період діджиталізації країн, логічно припустити, що комунікаційні процеси, особливо що стосуються науки, значною мірою повинні бути реалізовані в віртуальному середовищі. Для істотного поліпшення циркуляції наукової інформації і зняття бар'єрів у поширенні знань і прискорення їх застосування на практиці, в рамках комунікаційного процесу можна запропонувати використовувати спеціалізовані веб-сервіси. Як приклад доречно навести портал <https://www.sciencehunter.net>.

ТАБЛИЦЯ II. СТРУКТУРОВАНІЙ АНАЛІЗ РОЗРИВІВ І МЕХАНІЗМІВ ПОДОЛАННЯ РОЗРИВІВ НАУКОВИХ КОМУНІКАЦІЙ

Розриви: Причини і механізми	Розрив	Подолання - що долаємо	Подолання - як долаємо, механізм
Science to science	Закритість всередині груп дослідників	"Містечковість", "хуторянство" цих груп	Спеціальні канали передачі і вільної циркуляції знань, ідей, технологій між кластерами
	Невідладжений механізм взаємодії між адміністрацією та командами розробників	Монолог адміністрації	Механізм - діалог. Повинна бути організація зворотного зв'язку від дослідників до адміністрації, яка враховується адміністративною стороною.
Science to government	Зайве адміністрування	Нестача самостійності	Наділення наукових організацій великими повноваженнями, децентралізація і дебюрократизація інститутів науки.
	Відсутність гнучких	Система управління	Створення нових інститутів в науці -

	механізмів реагування на мінливі зовнішні умови, в тому числі і ринкові	розробками повинна бути гнучкою	інжинірингових центрів або шкіл, в яких йде моделювання або доведення наукових розробок до прототипу, донесення цих розробок за допомогою Інтернету (спеціальні сервіси і т.п.) і які повинні підтримуватися, патронуватися державою, можливо за певної підтримки бізнесу, як це робиться, наприклад, в Імперіал Коледж в Великобританії
	Протиріччя між системою управління, націленою на наукову і освітню діяльність, і необхідними ринковими механізмами управління комерціалізацією інновацій	Відсутність комерціалізації наукових розробок	
Science to business	З боку науки - невміння «переводити» з наукової мови на комерційну	Відсутність зв'язку між венчурним бізнесом, наукою і ринком високотехнологічної продукції	
	З боку бізнесу - високі очікувані ризики втрати інвестицій при високій вартості проєктів.		
Science to society	Відсутність налагодженого механізму донесення до широких мас різних аспектів наукової діяльності та її результатів	Інформаційний розрив між наукою і суспільством	Державна підтримка мас-медіа, які висвітлюють досягнення науки. Підготовки та створення відповідного кадрового потенціалу, включаючи відкриття спеціалізованих кафедр і спеціальностей
	Відсутність інституцій, що забезпечують зворотний зв'язок від суспільства	Немає діалогу між суспільством і наукою	Створення інтернет майданчиків, де громадяни (як частина суспільства) можуть брати участь в дискусіях, показових експериментах, навчанні та самонавчанні і т.п., і таким чином стикатися з науковим співтовариством

ВИСНОВОК

Виділено типи і форми (канали) НК. Проведено їх узагальнення для виявлення розривів в різних типах НК, аналіз даних розривів, їх структуризація і систематизація. З'ясовано причини їх виникнення. Запропоновано і описано механізми подолання розривів, що дозволяють перейти до конструктивної стадії цього процесу. Одним з основних механізмів є формування єдиного комунікаційного простору, яке слід реалізовувати в віртуальному середовищі з метою поліпшення циркуляції знань. Як наочний приклад, пропонується модель спеціалізованих веб-сервісів, покликаних полегшити процес комунікації.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Выдрин О.В. Научная коммуникация: к методологии исследования. *Вестник ЧелГУ*. 2009. № 42. С.112-117.
- [2] Замошанский И.И., Конашкова А.М., Красавин И.В., Пырьянова А.А. Научные коммуникации: ученый в современном обществе. *Известия Уральского федерального университета*. 2016. С. 30-41.
- [3] Лазар М.Г. Коммуникации в современной науке: социологические аспекты. *Учёные записки РГМУ*. 2011. № 18. С.239-244.
- [4] Мирская Е. З. Коммуникация в науке. *Социология науки и технологий*. 2010. Т. 1, № 1. С. 126-139.
- [5] Савченко А.П. Открытое информационное пространство научной коммуникации как фактор развития экономики знаний в России. *Государственные и муниципальное управление. Ученые записки СКАГС*. 2017. № 1. С.129-135.
- [6] Тищенко О. С. Современные формы научной коммуникации в высшей школе. *Socionprostir*. 2015. № 4(15). С. 67-70.
- [7] Шевченко Г.Я., Белозубенко В.С. Структурная модель научных коммуникаций. *Наука и наукознание*. 2019. № 4 (106). С.37-51.

Про Викладання Дисциплін з Моделювання Складних Систем

Василь Бегун

Інститут проблем математичних машин і систем
НАН України
Київ, Україна
begunw@ukr.net

Олексій Волошин

Кафедра моделювання складних систем
КНУ ім. Тараса Шевченка
Київ, Україна
olvoloshyh@ukr.net

About the Teaching of Modeling of Complex Systems Disciplines

Wasil Begun

Institute of Mathematical Machines and Systems Problems
NAS of Ukraine
Kiev, Ukraine
begunw@ukr.net

Oleksi Voloshin

Department of Modeling of Complex Systems
KNU them. Taras Shevchenko
Kiev, Ukraine
olvoloshyh@ukr.net

Анотація. У статті підіймається питання оновлення освіти з безпеки у зв'язку з переходом сучасного суспільства на нову парадигму управління безпекою, яка потребує знань сучасних методів моделювання процесів і систем та широкого впровадження інформаційних технологій. Автори діляться досвідом викладання імовірнісних методів моделювання у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка.

Abstract. In the article the problem of the necessity of the renovation of the education in the field of safety is raised due to the transformation processes in the modern society which are related to the implementation of the new paradigm of safety management. This new paradigm requires knowledge of the modern methods of modeling of processes and systems and requires the wide introduction of the information technologies. The authors of the article share their experience in the teaching of the probabilistic methods of modeling at the Taras Shevchenko National University of Kyiv.

Ключові слова: ризик, процес, безпека, імовірнісна модель, подія, навчання..

Key words: risk, process, safety, probabilistic model, event, teaching.

Одною з головних умов входження України в Євросоюз є перехід суспільства на сучасні міжнародні стандарти в усіх сферах життєдіяльності. Всі стандарти з менеджменту безпеки усіх галузей виробництва і сфер життя в Євросоюзі засновані на парадигмі ризик-орієнтованого підходу (РОП) та так званому процесному підході. Це означає, що управління безпекою (ризик-менеджмент) й в нашій країні має бути на основі оцінок ризику в усіх процесах діяльності.

Перехід на парадигму РОП у світі відбувається поступово з кінця минулого століття, чому, безумовно,

сприяло розвиток інформаційних технологій (ІТ). В країнах пострадянського простору ці процеси почалися з початку 2000-х років у ядерній галузі під впливом міжнародної громадськості – Європа була стурбована великою кількістю АЕС біля своїх границь, їх потенційною небезпекою. Зараз європейські стандарти менеджменту безпеки на основі РОП запроваджені майже в усіх сферах безпеки від охорони праці, атомній енергетики до військового планування, й нещодавно у харчовій галузі [1-7], навіть, на законодавчому рівні [8].

Всі ці стандарти засновані на парадигмі РОП з застосуванням ІТ. За всіма стандартами мається на увазі комп'ютерний супровід, а всі процеси мають бути оцінені за ступенем ризику якісними або/і (частіше) кількісними методами. Якісні оцінки звичайно пропонується робити методом FMEA [9]. Цей метод є широко відомим універсальним методом якісної оцінки ризику будь яких процесів. Процедура якісної оцінки ризику за методом FMEA використовується також як попередня процедура кількісних оцінок. Але кількісні оцінки вже потребують моделювання процесів й систем.

Одним з самих ефективних методів моделювання є імовірнісні методи, саме тому вони використовуються світовим суспільством з 70-х років в першу чергу в найбільш потенційно небезпечній ядерній галузі [10], де були виконані перші імовірнісні аналізи безпеки (ІАБ) за допомогою комп'ютерного коду SAPHIRE. Й вже з кінця 70-х вивчення ІАБ було включено в усіх технічних ВНЗ [11]. В нашій країні вперше це відбулося у 1996 році на кафедрі експлуатації АЕС КПП. Були розроблені всі методичні матеріали, а згодом й навчальний посібник [12]. Але, на жаль, такого поширення оновленого навчання з безпеки, як у розвинених країнах, не відбулося.

Ми досі зберігаємо простішу, як нам здається, систему менеджменту безпеки на основі державних інспекцій, й в навчальному процесі, на відміну від майже всього світового суспільства. Але переходити на міжнародні стандарти потрібно, й, на наш погляд, зараз, з урахуванням широкого впровадження ІТ, не складне оновити безпекові дисципліни в усіх навчальних закладах. Сучасні студенти набагато легше засвоюють теорію й відповідні практичні навички роботи (побудови імовірнісних моделей) за комп'ютерними кодами ІАБ. Отже наведемо приклади з власного досвіду організації навчання в КНУ (кафедра МСС) та національного університету харчових технологій (НУХТ).

Під час проходження виробничої практики студенти НУХТ привносять в інститут технологічні схеми й опис процесів сучасного виробництва деяких продуктів: борошна, йогурту, спирту й т.ін. Тобто, такі процеси виробництва (на відміну від процесів АЕС [12]) зрозумілі для більшості. Просто визначаються й функції безпеки – це, запобігання аварій (пожеж або вибухів) та попередження можливого отруєння населення виробленим продуктом внаслідок можливих порушень технологічних процесів. Для подальшого наведемо два основні визначення парадигми РОП за стандартом ISO [3]:

Ризик виражається у вигляді комбінації наслідків події – U (включаючи зміни обставин) і пов'язаної з ним «ймовірності» – P виникнення.

Процес – сукупність взаємопов'язаних або взаємодіючих видів діяльності для перетворення «входів» в «виходи».

До речі, в усіх інших стандартах ці визначення тотожні. Отже після цього становиться зрозумілим ціль моделювання – визначення ймовірності виникнення небажаної події включаючи зміни обставин. Загальна теорія побудови логічних імовірнісних моделей відносно просто сприймається студентами, причому на початку курсу кожен має обрати технологію (виробничі процеси) або систему, яку він буде моделювати під час виконання практичної роботи – таким чином майже з початку курс носить ознаки індивідуального навчання. Вибирається задача моделювання безпеки на рівні об'єкту, регіону чи, навіть, держави.

Основна задача моделювання може бути сформульована наступним чином: визначити інформаційні процеси та створити математичні моделі інформаційної технології управління безпекою на рівні об'єкту, регіону та держави для забезпечення встановлених показників безпеки, головний з яких є неперевищення граничного значення ризику ($R_{\text{гран}}$). Ця задача розділяється на такі підзадачі:

- оцінки ймовірності небажаних подій на об'єктовому (процесному) рівні;
- оцінки невизначеності результату розрахунку ризику;
- ознайомлення з методологією побудови типових моделей потенційно небезпечних об'єктів;

- оптимізації управління техногенною безпекою;
- визначення переліку ознак спостереження небезпечних процесів;
- оптимізації інтервалу між спостереженнями за елементами систем об'єкту;
- визначення поточного ризику;
- визначення ризику на регіональному та державному рівні.

Всі математичні задачі у рамках методології інформаційної технології безпеки базуються на ризик-орієнтованому підході як найбільш ефективному способі управління техногенною безпекою. Основним елементом ризик-орієнтованого підходу є оцінка величини ризику (R) на об'єктовому, регіональному та державному рівнях, який залежить від ймовірності небажаних подій та їх наслідків. Для цілей розрахунків користуємося простою формулою:

$$R = P \times U, R < R_{\text{гран}}$$

Взагалі, можна обійтися без складних формул, формули Булевої алгебри, за досвідом, сприймаються на інтуїтивному рівні (без них неможливо будувати дерева відмов – ДВ), інші задачі можна пояснювати на основі загальних алгоритмів імовірнісного коду та загальних понять теорії ймовірності [12].

Математична задача ймовірнісного аналізу безпеки на об'єктовому рівні полягає, у першу чергу, у визначенні величини ймовірності аварії (P_i) на i -му потенційно небезпечному об'єкті на основі вхідних даних у вигляді множини значень величини параметра інтенсивності відмов λ елементів та систем об'єкту та/чи множини значень величини ймовірності відмов на вимогу p елементів та систем. За допомогою моделі отримуємо функцію $P_i = \bar{f}(\lambda, p)$, при цьому персонал розглядається як елемент систем безпеки об'єкту.

У цьому році магістри НУХТ під час проходження дипломної практики в ПІММС розробили моделі з визначення ризику таких небезпечних підприємств та процесів: вибух газу на хлібозаводі, безпеку отруєння населення хлібом, безпеку вибуху сушарки зерна, вибух та пожежа на спиртовому заводі, можливість отруєння йогуртом. Ці моделі були відносно простими, рис.1 – на основі одного дерева відмов. Як результат аналізу визначені несприятливі збіги подій (Min Cut), які з певною ймовірністю призводять до небажаної події – табл.1 та важливість (Importance) – табл.2 для ризику цих подій. Саме ці результати й надають можливість розробки заходів запобігання, що й потрібно за технологією РОП [12]. Другим важливим результатом є те, що безпека оцінена числом, що відповідає сучасному тренду на «цифрову» економіку.

Магістри кафедри моделювання складних систем КНУ змогли удосконалити ці моделі за рахунок більшої деталізації елементів й систем, окремих розрахунків ймовірної помилки людини під час виконання операцій технологічних процесів за методикою THERP (США) тощо [12].

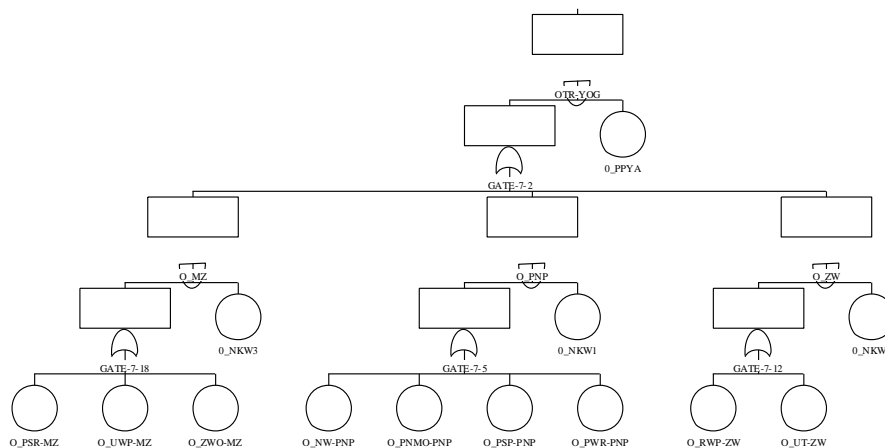


Рис. 1. Приклад дерева відмов, що побудовано кодом SAPHIRE

ТАБЛИЦЯ I. Таблица 1. Мінімальні перерізи системи (Min Cut)

Cut No.	% Cut	% Set	Frequency	Cut Sets
1	35.0	35.0	2.800E-007	0_NKW2, 0_PPYA, 0_UT-ZW
2	61.3	26.3	2.100E-007	0_NKW1, 0_PPYA, 0_NW-PNP
3	76.3	15.0	1.200E-007	0_NKW1, 0_PPYA, 0_PSP-PNP
4	88.8	12.5	1.000E-007	0_NKW3, 0_PPYA, 0_PSR-MZ
5	96.4	7.5	6.000E-008	0_NKW3, 0_PPYA, 0_UWP-MZ
6	99.4	3.0	2.400E-008	0_NKW2, 0_PPYA, 0_RWP-ZW
7	99.6	0.3	2.100E-009	0_NKW1, 0_PPYA, 0_PNMO-PNP
8	99.9	0.2	1.800E-009	0_NKW3, 0_PPYA, 0_ZWO-MZ
9	100.0	0.2	1.500E-009	0_NKW1, 0_PPYA, 0_PWR-PNP

ТАБЛИЦЯ II. Таблица 2. ВАЖЛИВІСТЬ БАЗИСНИХ ПОДІЙ СИСТЕМИ (IMPORTANCE)

Event Name	Num. of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importance	Risk Reduction Ratio	Risk Increase Ratio
0_PPYA	9	1.000E-004	1.000E+000	-----	9.970E+003
0_NKW1	4	3.000E-002	4.173E-001	1.716E+000	1.449E+001
0_NKW2	2	4.000E-002	3.803E-001	1.614E+000	1.013E+001
0_UT-ZW	1	7.000E-002	3.503E-001	1.539E+000	5.653E+000
0_NW-PNP	1	7.000E-002	2.627E-001	1.356E+000	4.490E+000
0_NKW3	3	2.000E-002	2.024E-001	1.254E+000	1.092E+001
0_PSP-PNP	1	4.000E-002	1.501E-001	1.177E+000	4.603E+000
0_PSR-MZ	1	5.000E-002	1.251E-001	1.143E+000	3.377E+000
0_UWP-MZ	1	3.000E-002	7.506E-002	1.081E+000	3.427E+000
0_RWP-ZW	1	6.000E-003	3.002E-002	1.031E+000	5.974E+000
0_PNMO-PNP	1	7.000E-004	2.627E-003	1.003E+000	4.750E+000
0_ZWO-MZ	1	9.000E-004	2.252E-003	1.002E+000	3.500E+000
0_PWR-PNP	1	5.000E-004	1.876E-003	1.002E+000	4.751E+000

Моделі удосконалені склалися з декілька моделей систем -ДВ та дерев подій відповідно до кількості функцій безпеки (2-4), що моделюються. Тобто, практично протягом семестру магістри провели повний імовірнісний аналіз безпеки виробництва харчових технологій за міжнародними стандартами на основі сучасної інформаційної технології в рамках відведеного навчального часу.

ВИСНОВКИ.

Технологія числової оцінки безпеки стає доступнішою, відповідне програмне забезпечення є у відкритому доступі в інтернеті. ВНЗ потрібно навчати майбутніх фахівців усіх галузей виробництва процедурам числової оцінки ризику,

що наближає країну до європейських стандартів. Можливо, та доведено досвідом, варіювати складність (глибину, повноту) моделювання відповідно до вимог потрібних компетенцій майбутніх фахівців.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Серия изданий по безопасности МАГАТЭ, №75 – INSAG-6. Вероятностный анализ безопасности. Вена: МАГАТЭ. 1994
- [2]. ДСТУ OHSAS 18001:2010 «Система управління гігієною та безпекою праці» URL: <http://www.ukrainecertification.com.ua/y-ohtsas-18001.html>
- [3]. ISO 22000: 2005 - «Food safety management systems - Requirements for any organization in the food chain» - Система менеджменту безпеки харчових продуктів. URL: <http://www.ukrainecertification.com.ua/y-ohtsas-18001.html>
- [4]. Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. № 37-р. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80>.
- [5]. ДСТУ IEC/ISO 31010:2013. Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику. Національний стандарт України (IEC/ISO 31010:2009, IDT). Київ: Мінекономрозвитку України, 2015. 73 с
- [6]. Framework for Cumulative Risk Assessment. EPA/630/P-02/001F. Washington: U.S. EPA, 2003. 129 p.
- [7]. NATO STANDARD. AAP-48. NATO System Life Cycle Processes. Edition C Version 1. URL: <https://tssodyp.ssb.gov.tr/genel/ReferansDokumanlar/AAP-48%20NATO%20System%20Life%20Cycle%20Processes-Mart%202013.pdf>
- [8]. Закон України від 18 травня 2017 року № 2042-VIII "Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин" URL: https://ukrainepravo.com/law-making/bill_enacted_into_law/zakon-ukrayiny-pro-derzhavnyy-kontrol-za-dotrymannyam-zakonodavstva-pro-kharchovi-produkty-kormy-pob/
- [9]. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
- [10]. U. S. NRC. Reactor Safety Study (WASH-1400) Main Report. 1975
- [11]. Хенли Э. Дж., Кумamoto X., Надежность технических систем и оценка риска. Перевод с англ. Сыромятникова В. С. Москва, "Машиностроение", 1984 г
- [12]. Бегун В.В., Горбунов О.В., Каденко И.Н. Вероятностный анализ безопасности атомных станций. К.: Випол, 2000. 558 с

Переваги Використання Методів Нечіткої Логіки в Задачах Класифікації

Анастасія Галушчак
кафедра комп'ютерних систем управління
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
galushchak.a.v@gmail.com

Advantages of Using Fuzzy Logic Methods in Classification Problems

Anastasiia Galushchak
dept. of Computer Control Systems
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
galushchak.a.v@gmail.com

Анотація—Розглянуто переваги використання нечітких класифікаторів. Нечіткі класифікатори розробляються за лінгвістичними правилами <Якщо – тоді>.

Abstract— The advantages of using fuzzy classifiers are considered. Fuzzy classifiers are developed according to the <if - then> linguistic rules.

Ключові слова—класифікація; нечіткий класифікатор

Keywords—classification, fuzzy classifier

I. ВСТУП

Класифікація є однією з найбільш розповсюджених задач аналізу даних. Люди з легкістю справляються з задачами, що ще не повністю доступні комп'ютерам. До задач класифікації зводяться діагностування захворювань в медичній галузі, розпізнавання звуків та зображення, класифікація документів, виявлення спаму, класифікація повітряних мас для прогнозування атмосферних явищ, класифікація типів ґрунтів по зображенням дистанційного зондування Землі та багато інших.

Клас – це основне поняття в задачах класифікації, він характеризує групу об'єктів з спільною характеристикою або спільним значенням [1].

Атрибути використовуються для чисельного описання об'єктів. В більшості задач класифікації використовують як якісні так і кількісні атрибути [1].

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

В загальному випадку задача класифікації зводиться до визначення класу об'єкта за певними атрибутами. Варто зазначити, що у задачах класифікації кількість класів відома наперед [2].

Розглянемо задачу класифікації web-сторінок на приналежність до фішингових сторінок. Фішинг – це найбільш популярний метод викрадення конфіденційної інформації. В більшості випадків, відмінності між сторінками закладені в адресі (URL). Відповідно визначено 2 класи сторінок: достовірна та фішингова. Задача полягає в тому, щоб визначити до якого класу належить сторінка відповідно до певних атрибутів. Приналежність до фішингової сторінки можна розпізнати за такими атрибутами: довжина URL- адреси; вік URL-адреси; IP; наявність префіксів-суфіксів; наявність нехарактерних символів.

Вирішуються задачі класифікації у 2 етапи. На першому етапі розробляється відповідна модель. На другому етапі, отриману модель застосовують до об'єктів, що аналізуються і входять до тестової вибірки.

Для початку набір вихідних даних розбивають на 2 вибірки: навчальну та тестову. Навчальна вибірка призначена для розробки та навчання моделі, в свою чергу, тестова – для перевірки достовірності та ефективності запропонованої моделі.

Перевірка достовірності запропонованої моделі полягає в класифікації нових невідомих значень.

Якість класифікатора оцінюють за критеріями складності, вартості, інтерпретабельності, точності, швидкості та надійності [2].

Стрімкий ріст кількості задач класифікації та необхідність ефективного їх вирішення сприяли виникненню різноманітних методів і підходів, зокрема: байесовий класифікатор, дерево рішень, нейронні мережі, статистичні класифікатори, метод опорних векторів, метод найближчого сусіда, нечіткі класифікатори.

Кожен із цих підходів має свої як переваги, так і обмеження. Зокрема, у традиційній статистичній процедурі класифікації, що ґрунтується на теорії прийняття рішень Байеса, головним обмеженням є залежність методу від великої кількості умов та станів, згідно з якими ця модель функціонує. Щодо дерев прийняття рішень, особливо з великою кількістю гілок, то вони характеризуються складністю для реалізації та розуміння, часовим витрачанням у тренувальній фазі. Класифікація методом найближчого сусіда досить часто є неточною за умови надлишковості або невідповідності характерних ознак. Генетичний алгоритм не ефективний для знаходження оптимального значення, розрахований на відшукування зального результату [3].

Нечіткий класифікатор представляє собою інструмент інтелектуального аналізу даних, що дозволяє одночасно проводити класифікацію та отримувати експертні знання, пов'язані з процесом класифікації.

Проектування нечіткого класифікатора зводиться до задачі оптимізації – вибору найкращої бази нечітких правил з множини існуючих.

Кожне правило в нечіткому класифікаторі містить значення лінгвістичних термів для усіх інформативних ознак, номер класу, якому відповідає дане правило, а також рівень значимості, що вказує на ступінь достовірності правила.

Нечіткі класифікатори – це класифікатори, які дають можливість описати з максимальною точністю фактори, для яких немає відомих точних закономірностей і для яких необхідно провести асоціацію між якісною та кількісною оцінками факторів, які впливають на особу при прийнятті рішення. Велика роль у нечіткому класифікаторі приділяється властивості інтерпретабельності, яка забезпечує «прозорість» виведення про приналежність до класу.

Нечіткий класифікатор являє собою відображення $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow y \in \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ на основі бази нечітких правил. Отже, базу правил нечіткого класифікатора запишемо так [4]:

$$\text{Якщо } (x_1 = \tilde{a}_{1j} \text{ та } x_2 = \tilde{a}_{2j} \text{ та } \dots \text{ та } x_n = \tilde{a}_{nj}) \quad (1)$$

$$\text{з вагою } w_j, \text{ тоді } y = d_j, j = \overline{1, k}$$

де $w_j \in [0, 1], j = \overline{1, k}; d_j \in \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$.

Класифікація об'єкта з атрибутами $\mathbf{X}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ здійснюється таким чином. Спочатку розраховується ступінь виконання j -го правила з бази (1):

$$\mu_j(X^*) = w_j \cdot (\mu_j(x_1^*) \wedge \mu_j(x_2^*) \wedge \dots \wedge \mu_j(x_n^*)) \quad j = \overline{1, k} \quad (2)$$

Ступінь належності вхідного вектору \mathbf{X}^* до класів l_1, l_2, \dots, l_m розраховується так:

$$\mu_{l_s}(y^*) = \max_{\forall j: d_j=l_s} (\mu_j(X^*)), s = \overline{1, m} \quad (3)$$

Нечітким рішенням задачі класифікації буде нечітка множина

$$\tilde{y}^* = \left(\frac{\mu_{l_1}(y^*)}{l_1}, \frac{\mu_{l_2}(y^*)}{l_2}, \dots, \frac{\mu_{l_m}(y^*)}{l_m} \right) \quad (4)$$

Кінцевим результатом виведення оберемо ядро нечіткої множини (4), тобто клас з максимальним ступенем належності:

$$y^* = \arg \max_{\{l_1, l_2, \dots, l_m\}} (\mu_{l_s}(y^*)).$$

III. ВИСНОВКИ

Нечіткі класифікатори є потужним інструментом аналізу даних. В основі нечітких класифікаторів лежать правила типу Якцо – тоді, які є прозорими та інтерпретабельними. Основними перевагами нечітких класифікаторів перед іншими алгоритмами класифікації є те, що база нечітких правил представляється у вигляді лінгвістичних знань, які є доступними для розуміння та інтерпретації експертами в проблемній галузі. Основною складністю в проектуванні нечітких класифікаторів є розробка ефективної бази знань.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Kuncheva L. Combining pattern classifiers: methods and algorithms / L. Kuncheva. – John Wiley & Sons, 2004. – 350 p.
- [2] Штовба С.Д. Інтелектуальні технології ідентифікації залежностей. Лабораторний практикум / С.Д. Штовба, В.В. Мазуренко. – Вінниця: Вінницький державний технічний університет, 2014. – 113 с.
- [3] Бренич Я. В., Тимошук П.В. Нейромережеві методи розв'язання задачі класифікації // Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.13. – С. 343-349.
- [4] Штовба С.Д., Галушак А.В. Критерії навчання нечіткого класифікатора на основі відстані між головними конкурентами // Радіоелектроніка, інформатика, управління. - 2016. - № 2. – С.70-76.

Засади Розвитку Хмарних Технологій

Василь Горбачук, Сергій Гавриленко, Геннадій Голоцуков, Максим Дунаєвський
відділ інтелектуальних інформаційних технологій
Інститут кібернетики імені В.М.Глушкова НАН України
Київ, Україна
GorbachukVasyl@netscape.net

Principles for Development of Cloud Technologies

Vasyl Gorbachuk, Serge Garvilenko, Gennady Golotsukov, Maxym Dunaievskiy
Department of Intelligent Information Technologies
V.M.Glushkov Institute of Cybernetics, National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
GorbachukVasyl@netscape.net

Анотація—Успішне широке застосування сучасних хмарних технологій передбачає глибоке розуміння засад розвитку цих технологій на локальних і глобальних мережах. Такий розвиток бере початок від перших операційних систем і систем з поділом часу на основі рекурсивних обчислень.

Abstract—The successful broad application of modern cloud technologies assumes the profound understanding of principles for development of these technologies on local and global networks. That development originates from the first operating systems and time-sharing systems on the basis of recursive computing.

Ключові слова—глобальні мережі; системи з поділом часу; рекурсивні обчислення

Keywords—global networks; time-sharing systems; recursive computing

I. ВСТУП

Особливістю сучасної цифрової ери є поширення так званих хмарних технологій. У 2020 р. в кожного користувача інтернету є широкий вибір хмарних рішень та опцій, яких не було у 2010 р. Такі послуги, як завантаження застосунків, зберігання фотографій і відеофільмів, базуються на хмарних хостингах. У 2000 р. парламент Естонії визнав доступ до інтернету невід'ємним правом людини, позаяк у 2003 р. в Україні зберігалася плата за вхідні дзвінки на мобільні телефони. Державна політика Естонії сприяла успішному соціально-економічному розвитку: за даними Міжнародного валютного фонду, у 2019 р. номінальний валовий внутрішній продукт на душу населення Естонії (25523 дол.) у понад 7 разів перевищував цей показник України (3592 дол.); якщо у 1991 р. цей показник в Естонії та України був однаковим, то протягом наступних 28 років середньорічний темп економічного зростання в Естонії був на понад 7% більший, ніж в Україні.

II. ПЕРЕДУМОВИ РОЗВИТКУ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Хмарну технологію визначають три фундаментальні поняття: надання послуг обчислення чи зберігання інформації як громадських або спільних; поділ одного й того самого комп'ютерного ресурсу між багатьма людьми через технологію віртуалізації; доступ до послуг через створення мереж.

У 1960 р. американський комп'ютерний науковець Маккарті (McCarthy, 1927–2011) опублікував мову програмування LISP (LISt Processor; рекурсивні функції символічних виразів та їх обчислення машиною), яка стала поширеною в застосуваннях штучного інтелекту (artificial intelligence, AI). LISP базується на так званому лямбда-численні – формальній системі в математичній логіці для вираження обчислень на основі функцій лямбда-абстракції та аплікації, використовуючи зв'язування (binding) змінної та заміну (substitution). Таке числення у 1930-х роках запропонував американський математик і логік Чарч (Church, 1903–1995), щоб уникати парадоксів теорії множин (скажімо, парадоксу Расселла (Russell, 1872–1970), Нобелівського лауреата 1950 р. з літератури). Таке числення дає універсальну модель обчислень, здатну імітувати будь-яку машину Тюрінга (Turing, 1912–1954). Маккарті був членом спеціального комітету Асоціації обчислювальної техніки (Association for Computing Machinery, ACM) з мов програмування, який взяв участь у проектуванні мови ALGOL 60 (ALGOrithmic Language). У 1959 р. Маккарті запропонував рекурсію з умовними виразами для ALGOL і методи збирання сміття (garbage collection) для спрощення ручного управління пам'яттю в LISP.

Маккарті також сприяв створенню проекту «Комп'ютер множинного доступу» (Multiple Access Computer, MAC) в Массачусетському технологічному інституті (Massachusetts Institute of Technology, MIT), лабораторії AI

в Стенфорді (Stanford), найперших систем з поділом часу – сумісної системи з поділом часу (Compatible Time-Sharing System, CTSS), розробленої американським комп'ютерним науковцем Корбатом (Corbato, 1926–2019) і вперше продемонстрованої на MIT IBM 709 у 1961 р., системи з поділом часу BBN (BBN (Bolt, Beranek, Newman) Time-Sharing System) [1], вперше продемонстрованої на PDP-1 у 1962 р., системи з поділом часу Дартмутського коледжу (Dartmouth Time-Sharing System, DTSS), вперше продемонстрованої на GE-225 та DATANET-30 у 1964 р.

Поява систем з поділом часу сприяла розвитку інтернету. Подібні системи стали називатися серверами і провайдерами хмарних послуг. У свої доповіді на тижневій конференції 1961 р., присвяченій 100-річчю MIT, Маккарті висунув ідею обчислень як сервісів (utility computing) на основі комп'ютерної технології з поділом часу та бізнес-моделі громадських послуг подібно до постачання води чи електрики [2]: споживачам можна продавати такі сервіси, як надання обчислювальних потужностей і конкретних комп'ютерних застосунків. Ця ідея комп'ютерної чи інформаційної громадської послуги стала популярною. З розвитком персональних комп'ютерів та індивідуальних засобів телекомунікацій цю ідею використовують: провайдери послуг застосунків (application service providers, ASPs) – підприємства, які надають послуги на базі комп'ютерів через мережу (наприклад, доступ до конкретного застосування програмного забезпечення (скажімо, менеджмент зв'язків з клієнтами), використовуючи стандартний протокол (для прикладу, протокол HTTP (HyperText Transfer Protocol) для передачі гіпертекстових документів у комп'ютерних мережах – здебільшого веб-сторінок (текстових файлів з розміткою на мові HTML (HyperText Markup Language))); мережеві (grid) комп'ютерні системи, що використовують широко розподілені комп'ютерні ресурси для досягнення спільних цілей і діють як розподілені системи неінтерактивних завантаженостей (non-interactive workloads) з багатьох файлів; провайдери хмарних сервісів – негайного надання ресурсів комп'ютерних систем (як правило, для зберігання даних та забезпечення обчислювальної потужності) за запитами без прямої активної участі користувачів у менеджменті цих сервісів і ресурсів. Однією з перших комп'ютерних операційних систем з поділом часу була Мічиганська система терміналів (Michigan Terminal System, MTS), яку розробили 8 університетів США, Канади, Великої Британії у складі консорціуму на чолі з Мічиганським університетом (University of Michigan) у м. Енн-Арбор (Ann Arbor). MTS працювала у 1967–1999 рр. на IBM S/360-67, S/370 та сумісних мейнфреймових комп'ютерах з властивістю віртуальної пам'яті. Мейнфрейми (mainframes) використовувалися, в основному, для важливих питань у великих організаціях, для обробки об'ємних даних (перепису населення, статистики підприємств і домогосподарств, планування ресурсів), обробки трансакцій (наприклад, у торговельних

мережах); мейнфрейми потужніші, ніж мінікомп'ютери, сервери чи робочі станції. Завдяки поділу часу в MTS багато користувачів могли користуватися спільним ресурсом.

III. ГЛОБАЛЬНІ МЕРЕЖІ

У 1969 р. Міністерство оборони США (US Department of Defense) ввело в дію комп'ютерну мережу Агентства передових дослідницьких проєктів ARPANET (Advanced Research Projects Agency NETwork) на базі протоколу TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) [1]. Дослідження віртуалізації ресурсів, застосування операційних систем, зберігання інформації, властивостей мереж у 1970-х роках мали практичний результат для фінансових установ – електронні грошові перекази (wire transfers, bank transfers, credit transfers) через комп'ютерні мережі замість телеграфних (перший грошовий переказ через телеграфну мережу здійснив у 1872 р. заснований у 1851 р. американський банк Western Union).

У 1973 р. було засновано Товариство світової фінансової телекомунікації (Society for Worldwide Financial Telecommunication, SWIFT) на базі мережі, яку проектувала заснована у 1969 р. британська консалтингова фірма Logica і реалізувала заснована у 1886 р. американська корпорація Burroughs. Почалося вивчення питання передачі даних через незайняті (unused) телевізійні сигнали. 26 березня 1976 р. англійська королева Єлизавета II надіслала повідомлення електронною поштою через ARPANET за допомогою британського комп'ютерного науковця Кірштайна (Kirstein, 1933–2020). У 1978 р. адміністрація президента США Картера (Carter), лауреата Нобелівської миру 2002 р., встановила у Білому домі комп'ютер Hewlett Packard 3000, з'єднаний з терміналами службовців Білого дому. У 1980-х роках створювалися локальні мережі між комп'ютерами. На 1985 р. комп'ютерні стрічки для зберігання інформації містили близько 200 мегабайтів даних (звичайний сучасний смартфон має значно більшу пам'ять), а близько 100 тис. комп'ютерів були поєднані глобальною мережею.

На 2020 р. глобальною мережею поєднані мільярди індивідуальних засобів зв'язку і комп'ютерів, створюючи нові соціальні мережі та нові форми організації суспільства, передбачені засновником Інституту кібернетики Академії наук України академіком В.М.Глушковым [3].

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Горбачук В.М. Постіндустріальна організація державних замовлень у розвитку AUTODIN, ARPANET, PRNET, NSFNET та Інтернету. Вісник Одеського національного університету. Економіка. Т. 21. Вип. 8. С. 116–122. 2016.
- [2]. Горбачук В.М. Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства. К.: А.С.К., 2010. 224 с.
- [3]. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд. 2-е, испр. М.: Наука, 1987. 552 с.

Віртуальна Математична Лабораторія в Навчальному Процесі

Вікторія Данилюк

Кафедра математики та інформатики і методики
навчання
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
danulykvika511@gmail.com

Марія Семанків

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

Virtual Mathematical Laboratory in the Educational Process

Victoria Danylyuk

Department of Mathematics and Informatics and Teaching
Methods
Precarpathian National University Ivano-Frankovsk,
Ukraine
danulykvika511@gmail.com

Maria Semankiv

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

Анотація — показано актуальність використання інформаційних технологій на уроках математики, досліджено переваги використання віртуальної математичної лабораторії в навчальному процесі, відзначено її можливості і для вчителя і для учнів.

Abstract — the relevance of the use of information technologies in mathematics lessons is shown, the advantages of using a virtual mathematical laboratory in the educational process are explored, its possibilities for both teachers and students are noted.

Ключові слова — Віртуальна математична лабораторія, Жива математика.

Keywords — Virtual Mathematics Laboratory, Live Mathematics.

I. ВСТУП

Традиційний підхід до викладання геометрії призводить до низької популярності даного предмету, особливо серед учнів, які не розуміють математику. Найбільш очевидна причина полягає в тому, що формулювання і доведення теорем заучуються, але не перевіряються. Такий стиль навчання націлений на розвиток некритичного, нетворчого мислення і відповідно для сучасних школярів є застарілим.

Викладання геометрії не може обійтися без наочності. У тісному зв'язку з наочністю навчання є його практичність. Адже, саме з життя ми черпаємо конкретний матеріал для формування наочних геометричних уявлень. Процес навчання спрощується при розумному використанні принципу наочності. Навчання не повинно бути перенасичене ілюстраціями, схемами, таблицями та іншими формами наочності, але в деяких важкодоступних

питаннях застосування наочності необхідно. І саме використання засобів мультимедіа дозволяє вчителю урізноманітнити урок новими видами діяльності, наситити його наочною інформацією, підвищити мотивацію учнів, інтерес до предмету.

II. ВІРТУАЛЬНА МАТЕМАТИЧНА ЛАБОРАТОРІЯ

Для розуміння побудови і вирішення багатьох геометричних задач необхідно навчити учнів просторово мислити і бачити об'єкти. Це є однією з проблем при вивченні геометрії. Віртуальна математична лабораторія вирішує цю проблему і, варто відзначити, що при роботі в лабораторії проявляється і творча діяльність учнів, тобто відбувається процес дослідження з елементами творчості.

На уроках математики як ніколи важлива ілюстрація умови і вирішення задачі для розвитку просторового мислення учня і для доброго засвоєння матеріалу. Тому перед учителем ставиться серйозна задача знаходити нові технології, залучати сучасні електронні технічні засоби для підвищення продуктивності занять. Такими засобами є використання презентацій, залучення учнів до проектної діяльності, робота в віртуальних середовищах і т.д.

Перед початком використання в своїй практичній діяльності різних інтерактивних і динамічних середовищ учитель опиняється перед вибором певного середовища. Під означенням динамічного середовища будемо розуміти програму, що дозволяє створювати динамічні комп'ютерні креслення і моделі, вихідні дані яких можна змінювати, не впливаючи на весь алгоритм побудови, а також переглядати їх і працювати з ними. Сьогодні найбільш популярними і поширеними серед викладачів програмами динамічної геометрії є Жива Математика, Математичний конструктор (МК) і GeoGebra.

Жива математика є середовищем моделювання та динамічного перетворення креслень, графіків і інших об'єктів, що дозволяє вирішувати широке коло завдань при вивченні геометрії, алгебри, тригонометрії і математичного аналізу. Жива Математика сформована на основі програми «Geometry's Sketchpad», яка розроблена фірмою Key Curriculum Press (USA), перекладена на російську мову та адаптована Інститутом нових технологій. Це виключно проста в освоєнні програма, що дозволяє створювати красиві креслення, які легко редагувати і можна подати в різних варіаціях, виконувати операції над ними і отримувати всі необхідні заміри. В свою чергу це забезпечує розвиток діяльності учня за такими напрямками як аналіз, дослідження, побудова, доведення, вирішення задач та головоломок.

Математичні лабораторії засновані на побудові комп'ютерної моделі конструювання алгоритмів вирішення завдань будь-якого типу. Віртуальне середовище пропонує учневі ряд наочних зорових образів інформаційних об'єктів (виконавців команд) і занурює його в проблемну ситуацію. Програмна реалізація моделей являє собою тренажери, за допомогою яких засобами команд управління може здійснюватися:

- навчанням в аудиторії,
- самостійна робота учнів як в аудиторії, так і поза аудиторією.

«Жива Математика» – це віртуальна математична лабораторія для навчальних досліджень при вивченні планіметрії, стереометрії, алгебри, тригонометрії та математичного аналізу. Віртуальну лабораторію можна використовувати практично при будь-яких видах навчальної діяльності, в тому числі і при виконанні домашнього завдання та творчих проєктів. Робота у віртуальній математичній лабораторії забезпечує підтримку роботи проєктного типу, в розумінні того, що це незамінний і плавний перехід від нескладних дослідів і простих завдань до поглибленого вивчення того явища, яке викликало цікавість. Крім того, програмне середовище підтримує також традиційну «задачну» форму. Особливо вдало реалізується в ній широкий спектр задач «на побудову».

III. МОЖЛИВОСТІ «ЖИВОЇ МАТЕМАТИКИ»

З допомогою Живої Математики можна:

- виявляти закономірності в геометричних явищах, які спостерігаються, формулювати теореми для подальшого доведення, підтверджувати вже доведені теореми;
- задавати системи координат і креслити графіки функцій;
- диференціювати (як точно, так і наближено), редагувати функції і обчислення в режимі роботи;
- впроваджувати мережеві ресурси прямо в креслення і публікувати живе креслення в Інтернеті у вигляді JAVA- аплету.

Використання лабораторії дозволяє розвинути в учнів навички сприйняття математичних об'єктів (фігур, пов'язаних з ними величинами, формулювання тверджень і запитань, доведень) і проведення різних активних дій (заміри, порівняння, побудова, спостереження, формулювання припущень, їх підтвердження і спростування та доведення).

Працюючи з віртуальною математичною лабораторією «Жива Математика» вчитель може:

- проілюструвати пояснення ефективними і точними кресленнями;
- організувати експериментальну дослідницьку діяльність у відповідності з рівнями і потребами учнів;
- підвищити різноманітність форм роботи учнів, значно збільшити частину творчої роботи в їх навчальній діяльності.

Знаходячись в середовищі віртуальної математичної лабораторії «Жива Математика» учень отримує можливість:

- бачити рівність і подібність фігур;
- відрізнити точні твердження про фігури від неточних;
- розуміти, що твердження про фігури поділяються на істинні та хибні;
- розуміти, що хибні твердження про фігури спростовуються контрприкладом і самостійно будувати їх;
- розуміти відношення між математичними твердженнями, його узагальненням і частинними випадками;
- відрізнити правильні доведення від неправильних, в окремих випадках самостійно доводити правдоподібні твердження.

При роботі у математичній лабораторії кожна фігура, яка обговорюється зображується на екрані монітора. Програма дозволяє створювати дуже складні конструкції за короткий проміжок часу, робити акуратні, чіткі і грамотні креслення, а також легко виправляти помилки.

Учні повинні супроводжувати рішення кожної задачі аналізом того, наскільки сформульовані ними положення витримують варіації вихідних елементів креслень. Всі положення, які допускають пряму перевірку (рівність довжин і кутів, знаходження точки на лінії, перетин ліній в одній точці), повинні обов'язково перевірятися. Будь-які твердження про кількісні властивості креслень можуть перевірятися з допомогою вбудованого апарата вимірів і арифметичних операцій над ними.

Математичні критерії оцінки успішності учнів при роботі з віртуальною лабораторією в основному співпадають з традиційними. Комп'ютерні критерії пов'язані зі специфікою структури креслень (взаємна залежність елементів креслень). Естетико-стилістичні

критерії пов'язані із ступенем використання учнями можливостями програми: виділення і підкреслення головних, ясними і грамотними поясненнями. Від учнів усіх рівнів можна вимагати цілковитої відповідальності за їх побудову, впевненості в роботі з ними. Слабші учні мають можливість бачити і спостерігати те саме, що і учні з середнім рівнем знань, тільки рівень розуміння ними логічних зв'язків може бути нижчим. Можна припустити, що вони можуть зробити менше ніж середні учні, але повністю можуть відчувати атмосферу того, що відбувалося. Учні з середнім рівнем знань, як правило, можуть повністю виконати обов'язкові завдання та деколи поспробувати свої сили в додаткових завданнях. Для сильних учнів виникає можливість швидко виконати необхідний мінімум і звільнити час для задач з підвищеним рівнем складності та особистих досліджень.

Для вчителя, який починає працювати у віртуальній математичній лабораторії, достатньо володіти комп'ютером на рівні початкового користувача.

В Живій Математиці реалізовані сучасні методи об'єктного конструювання, що опирається на інтуїтивно ясні та геометрично точні принципи, продовження в сфері динамічних конструкцій, що забезпечить їй виключну гнучкість, керованість та прозорість.

Для створення комп'ютерних креслень в Живій Математиці використовуються стандартні геометричні операції – побудова прямої, променя, відрізка через дві точки, побудова круга по центру і точці на крузі, а також по центру і радіусу, фіксація перетину прямих і кругів, проведення паралельних прямих та бісектрис.

Система перетворень все що від неї можна очікувати, а саме керовані повороти, переноси і відображення. Інтерфейс дуже простий та зручний, креслення виразні і їх можна легко редагувати.

Жива Математика – це досить гнучкий інструмент, який дозволяє реалізувати багато фантазій, які обмежуються тільки власною уявою.

Підручники геометрії вміщують в собі багато чисельні визначення, постулати, теореми, леми, які буває не легко зрозуміти чи відтворити. За допомогою Живої Математики зручно викладати складні теми, створюючи конструкції, які моделюють умови теорем та експериментуючи з ними.

Отримавши відповідні навички в Живій Математиці, неважко зрозуміти, що простіше і швидше відтворити

малюнок із підручника на комп'ютері ніж малювати його на папері. При цьому стають доступними також всі динамічні можливості програми і переваги маніпуляції з кресленням, про які сказано вище.

Досліджено проблеми, з якими стикаються вчителі та учні при вивченні математики, зокрема планіметрії, відзначено перспективи використання програмних продуктів на уроках математики, досліджено наявні програмні продукти, визначено переваги та недоліки. І на основі отриманих результатів досліджень доведено ефективність використання Живої Математики.

Для здобуття навичок роботи в даному середовищі розроблено методичний матеріал: знайомство з інтерфейсом програми з описом всіх інструментів даного середовища та заняття з планіметрії. Навчальний контент цих занять містить: навчальну презентацію з усіма поясненнями як побудувати фігури, також розроблені питання для самоперевірки, і наведені приклади для наочності.

IV. ВИСНОВКИ

Легко переконалися, що Жива Математика – незамінний інструмент для вивчення не тільки геометрії але і всіх математичних курсів. Наприклад, в курсі алгебри корисно звернутися до цієї програми для розуміння геометричного змісту похідної, як характеристики нахилу кривої або при дослідженні і побудові графіків функцій та вивчення властивостей параболи і, що найважливіше для вияснення терміну «функція», як поняття.

Для старшокласників та студентів Жива Математика буде корисна при дослідженні інтегралів, для знаходження площі під кривими за допомогою команди «Похідна». Ті, хто поглиблено вивчають математику та фізику, можуть переконалися, що ця програма допомагає зрозуміти неевклідову геометрію та інші складні математичні теорії.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Живая Математика 5: Сборник методических материалов. – М.: ИНТ. – 209 с.
- [2]. Д. Н. Шеховцева. Использование компьютерных технологий для визуализации математического знаний.
- [3]. И.В. Яковенко, А.В. Вашурин Анализ применения виртуальной математической лаборатории на уроках геометрии

Система Комп'ютерної Алгебри Maxima

Наталія Лазорко

Кафедра математики та інформатики і методики
навчання
ДВНЗ «Прикарпатський національний університет
імені Василя Стефаника»
Івано-Франківськ, Україна
natalia.lazorko.45@gmail.com

Марія Семанків

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

Computer Algebra System Maxima

Natalia Lazorko

Department of Mathematics and Informatics and Teaching
Methods
Precarpathian National University Ivano-Frankovsk,
Ukraine
natalia.lazorko.45@gmail.com

Maria Semankiv

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

Анотація — показано актуальність використання математичних пакетів на уроках математики, запропоновано для використання спеціалізований математичний пакет Maxima та відзначено її переваги і для вчителя і для учнів.

Abstract — the relevance of the use of mathematical packages in mathematics lessons is shown, the specialized Maxima mathematical package is proposed and its advantages are presented for both the teacher and the students

Ключові слова — система комп'ютерної алгебри, Maxima.

Keywords — computer algebra system, Maxima.

I. ВСТУП

Проведення уроків з використанням інформаційних технологій — це потужний стимул у навчанні. За допомогою таких уроків активізуються психологічні процеси учнів: сприйняття, увагу, пам'ять, мислення; набагато активніше і швидше відбувається збудження пізнавального інтересу. В даний час розроблена комп'ютерна підтримка будь-якого навчального предмета, в тому числі і математики. Незмінюючи підручник або інші навчальні посібники, електронні видання мають власні дидактичні функції. Вони не прив'язані жорстко до якогось конкретного підручника, в них представлені найбільш значущі питання змісту освіти для основної і старшої школи.

Програмне математичне забезпечення включає в себе навчальні та контролюючі програми, електронні підручники з планіметрії, стереометрії, лінійної алгебри, алгебри і початків аналізу. За допомогою цих програм учень самостійно може перевірити свій рівень знань з теорії, виконати теоретико-практичні завдання; вони містять теоретичні вправи, зразки виконання завдань, завдання для самоперевірки. Програми зручні своєю універсальністю. Вони можуть бути використані і для самоконтролю, і для контролю з боку вчителя.

II. МАТЕМАТИЧНІ ПАКЕТИ

Комп'ютерна підтримка у викладанні з допомогою математичних пакетів покликана звільнити учня від

рутинної роботи, дозволити йому зосередитися на суті досліджуваного в даний момент матеріалу і стимулювати пізнавальну діяльність учня.

Досвід використання математичних пакетів як нових технологій в освіті свідчить про досягнення наступних цілей:

- збільшується кількість завдань для самостійного вирішення (завдяки скороченню рутинних перетворень);
- досліджуються більш складні математичні моделі, так як громіздкі обчислення передані відповідним системам комп'ютерної математики;
- удосконалюється навчальний матеріал, оскільки більше уваги приділяється якісним аспектам;
- учні позбавляються від страху при роботі з об'ємними викладками і набувають впевненість в числових обчисленнях;
- виробляються стійкі практичні навички проведення математичних міркувань.

При використанні систем чисельних обчислень в учнів з'являється можливість отримання не тільки числових, а й аналітичних результатів. Тому особлива роль комп'ютерних програм полягає в закріпленні і перевірці формульних розрахунків, а не тільки в отриманні деякої числової інформації.

Особливе місце в програмах займають засоби візуалізації, тобто, вихідні дані можна подати у вигляді графіків і діаграм. Наочність є одним з головних знарядь в роботі вчителя, коли учень бачить розрахунки і хід розв'язання, а головне - результат своєї діяльності.

Зараз програмні засоби орієнтовані на вирішення математичних задач (де під математичною розуміється будь-яке завдання, чий алгоритм може бути описаний в термінах того чи іншого розділу математики) і досить обширні та умовно їх можна розділити на п'ять рівнів:

1. вбудовані засоби різного ступеня розвитку тієї або іншої системи програмування;

2. спеціальні мови програмування;
3. вузько-спеціалізовані програмні засоби;
4. спеціалізовані програмні засоби;
5. програмні засоби загального призначення.

Maxima - це система для роботи з символьними та числовими виразами, включаючи диференціювання, інтеграцію, ряди Тейлора, перетворення Лапласа, звичайні диференціальні рівняння, системи лінійних рівнянь, поліноми, множини, вектори, матриці та тензори. Maxima дає досить точні чисельні результати, використовуючи дроби, цілі числа та числа з плаваючою крапкою із змінною точністю. Maxima може будувати функції та дані у двох- та трьохвимірних просторах.

Вихідний код Maxima може бути скопійований у багатьох системах, включаючи Windows, Linux та MacOS X.

Максима - нащадок Macsyma, легендарної комп'ютерної алгебри, розробленої наприкінці 1960-х років в Массачусетському технологічному інституті. Це єдина система, що базується на тих самих принципах, які все ще є загальнодоступними та з активною спільнотою користувачів, завдяки своєму відкритому коду. Macsyma була революційною за своїх часів, і багато пізніші системи, такі як Maple та Mathematica, були мотивовані нею.

III. ПЕРЕВАГИ МАХІМА

Суттєвими перевагами Maxima в порівнянні з іншими системами комп'ютерної математики є:

1. Можливість вільного використання (поширюється на основі ліцензії GNU). Більш того, Maxima поширюється з вихідним кодом, написаному на мові Lisp, тому користувач може відкрити будь-який з файлів бібліотеки (вони, як правило, текстові) і вивчити алгоритм, за яким працює та чи інша функція, а в разі потреби створювати свої функції, використовуючи, в тому числі, вихідний код функцій, що входить в комплект поставки системи,
2. Можливість функціонування під керуванням різних ОС (зокрема Linux і Windows). Зокрема, вона може бути легко встановлена на планшеті або смартфоні.
3. Простота інсталяції та невеликий розмір програми (близько 80 Мб).

4. Широкий клас розв'язування задач, в цьому можна переконатися, переглядаючи довідкову підсистему, найширший набір засобів для графічного відображення інформації,
5. Можливість роботи як у консольній версії програми, так і з використанням одного із графічних інтерфейсів (TeXmacs, wxMaxima, imaxima).
6. Розширення wxMaxima (що входить у комплекс програми) надає користувачеві зручний і зрозумілий інтерфейс, рятує від потреби у вивченні особливостей введення команд для розв'язання типових задач.
7. Maxima поєднує в собі засіб для вирішення математичних задач і мову програмування, що дозволяє самостійно писати програми з розгалуженням і циклічними алгоритмами.
8. Наявність довідки та інструкцій по роботі з програмою.
9. Інтерфейс програми українською мовою.

V. ВИСНОВКИ

Спеціалізований математичний пакет Maxima на уроках алгебри і початків аналізу можна використовувати не тільки як засіб супроводу вивчення питань шкільної програми чи навчального курсу. Пакет дозволяє вдало здійснити деякі етапи роботи з теоремою, завданням, може стати засобом, що формує аналітичне мислення, що розвивається в процесі вирішення завдань з використання даного пакету. Такі засоби можуть стати засобом розвитку пізнавальних інтересів в учнів та студентів, фактором мотивації для вивчення математики, та використовуватись при організації самостійної та індивідуальної роботи.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Тюгаева О. В. «Об использовании компьютерных технологий на уроках математики в школе» <https://cutt.ly/l4jA7k>
- [2] «Обзор коммерческих и свободно распространяемых систем компьютерной математики» <https://studfile.net/preview/3529583/page:4/>
- [3] Филиппова Н. В. «Применение систем компьютерной математики и компьютерных технологий при изучении дисциплин математики» <https://moluch.ru/archive/7/500/>
- [4] Чичкарьов Є. А. «Підручник-довідник із системи комп'ютерної алгебри Maxima» <https://cutt.ly/3t4jXeF>

Онтологічна Модель для Представлення Інформації Наукових Установ

Лариса Глоба, Богдан Задосенко

Кафедра Інформаційно-Телекомунікаційних Мереж
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського"
Київ, Україна
lgloba@its.kpi.ua

Ріна Новогрудська

Національний центр «Мала академія наук України»
Київ, Україна
rinan@ukr.net

Ontological Model for Scientific Institutions Information Representation

Globa Larysa, Bohdan Zadoienko

Dept. of Information and Telecommunication Networks
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine
lgloba@its.kpi.ua

Rina Novogradskaya

National Center "Small Academy of Sciences of Ukraine"
Kyiv, Ukraine
rinan@ukr.net

Анотація— У статті наведено підхід до проектування онтологічної моделі для представлення інформації накопиченої науковими установами. Онтологія дозволяє структурувати та систематизувати таку інформацію для її подальшого використання в процесі оцінки ефективності функціонування установи. Загальну онтологію представлено системою взаємозв'язаних компонент, кожна з яких дозволяє описати відповідний підпроцес в рамках як діяльності самої установи, так і процесу її оцінки зовнішніми організаціями та міністерствами. Проведено опис елементів усіх компонент системи онтологій. Практичну розробку запропонованої онтологічної моделі виконано з використанням платформи розробки онтологічних рішень ТОДАОС.

Abstract— The article presents an approach to designing an ontological model for presenting information accumulated by scientific institutions. An ontology allows you to structure and organize such information for later use in the process of evaluating the performance of an institution. The general ontology is represented by a system of interconnected components, each of which allows us to describe the relevant sub-process within both the activity of the institution itself and the process of its evaluation by external organizations and ministries. The elements of all the components of the ontology system are described. The practical development of the proposed ontological model was performed using the TODAOS Ontology Solutions Development Platform.

Ключові слова— наукова установа; оцінка якості; інформація; діяльність, онтологія.

Keywords— scientific institution; quality assessment; information; activity, ontology.

I. ВСТУП

На сьогоднішній день існує велика кількість державних та приватних установ які надають послуги у різних сферах життєдіяльності суспільства. Затребуваність таких установ напряму залежить від ефективності їх функціонування. Особливо важливою характеристикою ефективності функціонування є для організацій задіяних в сфері науки та освіти, оскільки саме від якості послуг, які вони надають залежить майбутній рівень розвитку держави та життєдіяльності її громадян. Саме тому на сьогодні існують певні загальноприйняті принципи оцінки таких організацій. Процес такої експертної оцінки наведено та затверджено у відповідних нормативних документах [1].

В процесі свого функціонування установи накопичують велику кількість інформації (коли мова йде про наукові та освітні організації такою інформацією є – наукові статті, звіти, рейтинги працівників, економічні показники та ін.), яка може бути використана для їх оцінки за загальнодержавними критеріями. Для оцінки ефективності роботи організації використовується інформація, яка вже є накопиченою на рівні організації. Систематизація та структуризація такої інформації не лише полегшить її використання на рівні установи, але і може надати можливість використовувати її відповідним органам в процесі оцінки якості функціонування установи. У дослідженні пропонується використати онтологію, як одну з моделей представлення знань, що забезпечить організацію інформації наукових установ з метою її структуризації та систематизації, а також подальшої обробки та використання.

II. ОГЛЯД ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА НАПРЯМКОМ ТА БАЗОВІ ПОНЯТТЯ

В останні роки, завдяки стрімкому розвитку та застосуванню технології штучного інтелекту для розробки інформаційних систем постала необхідність створення підходу орієнтованого на зручне для користувача представлення опису знань, які акумулюються в таких системах. Серед існуючих на сьогоднішній день моделей представлення знань найбільшого використання набула онтологічна модель. Онтологічне моделювання є одним з підходів до ідентифікації предметної області, заснованих на ідеї концептуального моделювання. Концептуальна або понятійна модель предметної області описує її як сукупність понять (концептів, термінів) і відношень між ними, яким відповідають сутності з реального світу [2]. Цьому відповідає класичне представлення онтологічної моделі, в якому онтологія задається трьома кінцевими підмножинами: концептів, зв'язків і функцій інтерпретації. При моделюванні предметної області як сфери діяльності, відношення між поняттями також є поняттями, що описують відношення [3]. Поняття, віднесені до класу відношень, використовуються для опису процесів і явищ реального світу. Змістова модель предметної області для понятійної моделі задається орієнтованим поміченим графом, вершини якого інтерпретуються як інформаційні елементи, що відповідають реальним об'єктам предметної області. Виділяються два типи відношень в об'єднанні моделей: змістовні, що визначають відношення одного інформаційного елемента до іншого, і понятійні, що визначають відношення елемента до концепту з понятійної ПО [4].

Формально онтологічна модель може бути задана як:

$$O = \langle C, R, F \rangle,$$

де C – кінцева множина концептів (понять) предметної області, R – кінцева множина відношень між концептами, F – кінцева множина функцій інтерпретації, заданих на концептах і/або відношеннях.

Онтологічний підхід дозволяє проводити постійне удосконалення моделі на основі базових онтологій шляхом їх побудови та розвитку [5]. Онтологія включає як опис предметної області, так і опис релевантних їй ресурсів. Частина онтології, що описує конкретну предметну область, включає в себе сукупність термінів і відношень семантично значущих для даної предметної області, а також правил, згідно з якими можна будувати твердження про елементи предметної області [6].

Саме онтологічні моделі можна використовувати як універсальний засіб для інтеграції даних та знань із різномірних джерел інформації. Використання онтологій дозволяє структурувати, систематизувати та класифікувати інформацію. Важливою характеристикою онтологічних моделей представлення знань є те, що структура онтологічної моделі априорі вписується в парадигму семантичної павутини, що робить можливим автоматизоване налаштування та використання розробленої онтології в Інтернет середовищі. Така характеристика є затребуваною з точки зору розробки

сучасних інформаційних систем, основною вимогою до яких є надання он-лайн доступу користувачам у режимі реального часу.

III. СИСТЕМА ОНТОЛОГІЙ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НАУКОВИХ УСТАНОВ

Функціонування наукових організацій пов'язане з певними специфічними особливостями які не є характерними для іншого типу установ. Так, наприклад, важливими показниками наукового процесу є кількість публікацій, цитування, різноманітні наукові індекси та рейтинги, участь у міжнародних проектах та програмах, виконані наукові теми, підготовлені спеціалісти різних кваліфікаційних рівнів за різними спеціальностями і спеціалізаціями та інше. Саме тому і інформація, яка продукується в процесі функціонування таких установ також відображає усі рівні (аспекти) такого функціонування. Таку особливість необхідно врахувати і при розробці онтологічної моделі. Також, в процесі організації наукової діяльності, задіяні декілька основних процесів: організація діяльності установи; визначення показників, за якими можна виявити рівень виконання певного виду діяльності в установі; наявність критеріїв оцінки таких показників, за допомогою яких можна виконати оцінку досягнень організації та встановити чи відповідає її діяльність затребуваним вимогам; організація безпосередньо процесу оцінювання установи.

Виходячи з цього, пропонується у загальній онтології для представлення інформації накопиченої науковими установами виділити декілька онтологій. В результаті такого виділення загальна онтологія буде являти собою систему онтологій, кожна з яких буде описувати відповідний підпроцес в рамках як діяльності самої установи, так і процесу її оцінки. Сама ж система в цілому дозволить як структурувати та систематизувати інформацію, накопичену науковими установами, так і організувати контекстно-незалежні структури для її подальшої обробки та використання.



Рис. 1. Система онтологій діяльності наукових установ

Система онтологій являє собою сукупність декількох компонентів (Рис. 1). Розроблена система включає такі онтології як:

Онтологія діяльності наукових установ – відображає усі можливі процеси які відбуваються в рамках наукового процесу в межах діяльності наукових установ.

Онтологія організації діяльності установи – описує загальні поняття, які стосуються організації наукової діяльності в цілому.

Онтологія показників діяльності установи – дозволяє детально описати показники по усім аспектам діяльності установи.

Онтологія оцінювання діяльності наукових установ вводить поняття, які дозволяють провести оцінку ефективності наукової діяльності певної наукової установи в рамках її державної перевірки або встановлення її наукового рівня.

Онтологія критеріїв оцінювання діяльності установи – задає критерії для оцінки ефективності діяльності установи.

Онтологія організації оцінювання діяльності установи – описує сам процес проведення оцінки відповідними органами.

Онтологія предметної області – базується на системній класифікації наукової діяльності.

Екземпляри класів і відношень, визначених у онтології, утворюють інформаційне наповнення банку даних, який містить терміни, що представляють поняття предметної області. Вихідними даними для моделі представлення знань, що характеризують предметну область, є різноманітні нормативні документи, а також підручники, посібники, періодика, звіти, інформаційні ресурси та інше.

Така система онтологій дозволить не лише реалізувати представлення інформації, накопиченої науковими установами в процесі діяльності, але і організувати структури для її подальшого використання та обробки.

IV. ЕЛЕМЕНТИ ОНТОЛОГІЙ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ НАУКОВИХ УСТАНОВ

В процесі побудови онтологічної моделі виникає необхідність опису її елементів. Онтологічна модель включає наступні елементи [7]:

Онтологічна модель = <класи, атрибути, відношення, типи значень атрибутів, обмеження на значення атрибутів, екземпляри класів>,

де *класи* – елемент онтологічної моделі, який описує поняття деякої предметної або проблемної області;

атрибути – елементи онтологічної моделі, які описують властивості понять і відношень;

відношення – задаються на класах, та відображають або зв'язок класів між собою або зв'язок класів з даними чи атрибутами. Існують відношення наступних видів:

асоціативне відношення – за рахунок чого дозволяє здійснювати змістовний пошук по інформаційному простору онтології,

відношення «частина-ціле» – дозволяє встановлювати зв'язки між класами на рівні ієрархії,

відношення наслідування – використовується для передачі атрибутів і відношень від батьківського класу до дочірнього,

відношення «клас-дані» – дозволяє пов'язувати екземпляри понять з класом;

типи значень атрибутів – задають стандартні типи для значень атрибутів класів (наприклад: string, integer, real, date);

обмеження на значення атрибутів понять і відношень – використовується не для всіх атрибутів, а лише для тих, значення яких повинні лежати в деякій області, не можуть бути менше/більше заданої величини або визначаються певним правилом. Так, наприклад, на значення атрибута «дата початку» класу C_i онтології O_i накладається обмеження $T(\text{дата}) = \text{date } F(T) > 0.$

екземпляри класів – елемент онтології який відображає конкретні дані предметної області, які підпорядковуються структурі онтологічної моделі.

В процесі дослідження описані елементи онтологічної моделі були визначені для всіх онтологій запропонованої в розділі 3 системи онтологій. Процес детального опису елементів онтології є важливим етапом проектування загальної онтологічної моделі, який дозволить задати структури для подальшого наповнення онтології інформацією предметної області (екземплярами класів).

V. ПЛАТФОРМА РОЗРОБКИ ОНТОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ТОДАОС

Практична реалізація онтологічної моделі та її наповнення виконувалось використовуючи платформу «Трансдисциплінарні Освітні Діалоги Аплікаційних Онтологічних Систем» (ТОДАОС). Платформа ТОДАОС надає множину програмно-інформаційних засобів для збереження та обробки знань за рахунок можливості розробки онтологій. Платформа ТОДАОС забезпечує [8]: мережеву взаємодію з неструктурованою і слабо структурованою інформацією великих обсягів; лінгвістично-семантичний аналіз контенту, агрегування та рейтингування інформаційних ресурсів, інтеграцію з іншими мережевими інформаційними системами та WEB-орієнтованими додатками, створення онтологічних інтерактивних документів, виявлення латентної інформації в інформаційних ресурсах, що аналізуються та інше. На Рис. 2 наведено фрагмент онтологічної моделі для представлення інформації наукових установ розроблений у ТОДАОС.

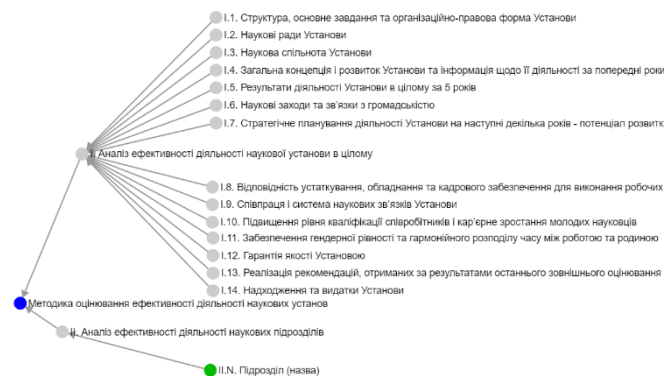


Рис. 2. Фрагмент онтологічної моделі для представлення інформації наукових установ розробленої з використанням платформи ТОДАОС

ВИСНОВКИ

У роботі наведено підхід до представлення інформації яка накопичується в різноманітних наукових установах за допомогою онтологічної моделі. Онтологічне представлення дозволить проводити оцінку якості функціонування наукових установ на базі загальнодержавних принципів такої оцінки. Інформація про організацію процесу оцінки, а також загальноприйняті критерії оцінювання також зберігатимуться в онтологічній моделі. Визначені в моделі асоціативні відношення між об'єктами, які представляють терміни предметної області дозволять пов'язати показники діяльності організації з критеріями за якими проводиться оцінка

Майбутні дослідження будуть направлені на подальше наповнення розробленої у ТОДАОС онтології інформацією предметної області.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Методика оцінювання ефективності діяльності наукових установ Національної академії наук України ЗАТВЕРДЖЕНО постановою Президії НАН України від 15.03.2017 № 75 зі змінами, внесеними постановою Президії НАН України від 11.07.2018 № 241
- [2]. N. Guarino, "Formal Ontology in Information Systems," *Proceedings of FOIS'98*, Amsterdam: IOS Press, 1998, pp. 3-15
- [3]. N. Guarino, G. Guizzardi, "In Defense of Ontological Foundations for Conceptual Modeling," *Scand. J. Inf. Sys.*, vol. 18. no. 1, pp. 115–26, 2006.
- [4]. J.F. Sowa, "The role of logic and ontology in language and reasoning," in: *Theory and Applications of Ontology: Philosophical Perspectives*, Berlin: Springer, 2010, ch. 11., pp. 231–263, doi:10.1007/978-90-481-8845-1_11.
- [5]. N. Rina and I. Nikolchev, "Design knowledge portals based on ontological models," in: *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics*, Lviv, 2015, pp. 266-268, doi:10.1109/CADSM.2015.7230853
- [6]. О.И. Боровикова, Ю.А. Загоруйко, Е.А. Сидорова, "Подход к автоматизации сбора онтологической информации для интернет-портала знаний," *Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии: Труды международной конференции Диалог'2005*, Москва: Наука, 2005, с. 65–70.
- [7]. L. S. Globa, R. L. Novogrudska and A. V. Koval, "Ontology Model of Telecom Operator Big Data," in: *2018 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, Batumi, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/BlackSeaCom.2018.8433710.
- [8]. В.Ю. Величко, М.А. Попова, В.В. Приходнюк, О.Є. Стрижак, "ТОДАОС – ІТ-платформа формування трансдисциплінарних інформаційних середовищ," *Системи озброєння і військова техніка*, № 1, С. 10-19, 2017.

Моделювання Процедури Мамографічних Обстежень в Медичних Системах Підтримки Прийняття Рішень

Анатолій Поворознюк
кафедра обчислювальної техніки та
програмування
Національний технічний
університет
«Харківський політехнічний
інститут»
Харків, Україна
ai.povoroznjuk@gmail.com

Оксана Поворознюк
кафедра обчислювальної техніки та
програмування
Національний технічний
університет
«Харківський політехнічний
інститут»
Харків, Україна
povoks@i.ua

Халед Шехна
кафедра обчислювальної техніки та
програмування
Національний технічний
університет
«Харківський політехнічний
інститут»
Харків, Україна
khaled-shehna@hotmail.com

Modeling of Mammographic Examination Procedures in Medical Decision Support Systems

Anatoliy Povoroznyuk
Department of Computer Science and
Programming
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
ai.povoroznjuk@gmail.com

Oksana Povoroznyuk
Department of Computer Science and
Programming
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
povoks@i.ua

Khaled Shehna
Department of Computer Science and
Programming
National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"
Kharkiv, Ukraine
khaled-shehna@hotmail.com

Анотація—У роботі розглянуто формалізацію етапів та моделювання процедури мамографічних обстежень при проектуванні медичних комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень. Розроблено функціональну, структурну та математичну модель мамографічних обстежень. Розроблені моделі дозволяють синтезувати структуру системи підтримки прийняття рішень при проведенні мамографічних обстежень, інформаційне, математичне та програмно-апаратне забезпечення з метою підвищення ефективності надання медичних послуг.

Abstract— The paper considers the formalization of stages and modeling of mammographic examinations for designing of medical computer decision support systems. A functional, structural and mathematical model of mammographic examinations has been developed. The developed models allow us to synthesize the structure of the decision support system for carrying out mammographic examinations, information and mathematical support, software and hardware in order to improve the efficiency of medical services.

Ключові слова—мамографічне обстеження; моделювання; функціональна, структурна, математична модель; система підтримки прийняття рішень.

Keywords—mammogram examination; modeling; functional, structural, mathematical model; decision support system.

I. ВСТУП

Сучасна медицина характеризується різким зростанням кількості інформації, що переробляється при вирішенні традиційних лікарських завдань: від реєстрації біомедичної інформації до постановки діагнозу, визначення прогнозу, вибору і корекції тактики лікування за результатами діагнозу.

Біомедичні зображення (БМЗ) такі як рентенограми, мамограми, УЗД та ін. є одним з важливих засобів отримання візуальної інформації про внутрішні структури і функції людського тіла, яка не сприймається безпосередньо зором. [1].

Існуючі методи цифрової обробки зображень мають обмежену сферу застосування при обробці БМЗ, так як БМЗ є малоконтрастними, містять значну шумову складову, а діагностичні елементи – значну варіабельність.

Метою роботи є моделювання етапів мамографічного обстеження при проектуванні медичних систем підтримки прийняття рішень, та розробка спеціалізованих методів обробки мамограм, заснованих на врахуванні особливостей розглянутих зображень у вигляді моделей корисних сигналів, зокрема моделей фрактальної розмірності.

II. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ МАМОГРАФІЧНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

Процес мамографічного обстеження (МО) представляється у вигляді узагальненої моделі M_G виду: $M_G = \{M_F, M_S, M_M\}$, де M_F, M_S, M_M – функціональна, структурна та математична моделі процесу мамографічного обстеження відповідно.

Функціональна модель M_F , в якій виділено чотири основних функціональних блока: реєстрація пацієнта; морфологічний аналіз мамограм; діагностика; формування протоколу обстеження, наведена в [2].

В якості структурної моделі M_S пропонується орієнтований граф, що відображає основні стани процесу МО і їх взаємодії (визначаються функціональною моделлю). При цьому передбачається, що весь процес навчання системи виконаний, тобто сформовані відмічені раніше в функціональній моделі ієрархічні структури діагностичних ознак S_X і діагностуємих станів S_D і визначена структура діагностичного вирішального правила. За допомогою M_S визначається ефективність проведення МО, ймовірність та причини появи лікарської помилки з метою розробки методів її мінімізації.

Розробка математичної моделі. На основі розглянутих моделей пропонується наступна математична модель M_M процесу МО:

$$M_M = \langle SP, SP^P X, X^P, D, D^P, S_D, S_X, T, Q_t \rangle,$$

де $SP = \{sp_i[\cdot] | i \in \{1, \dots, n_{SP}\}\}$ – множина цифрових мамограм;

$SP^P = \{sp_i^P[\cdot] | i \in \{1, \dots, n_{SP}\}\}$ – множина цифрових мамограм, які виміряні у пацієнта;

$X = \{x_i \in X^{(A)} \cup X^{(SP)} | i \in \{1, \dots, n_X\}\}$ – множина діагностичних ознак; $X^{(A)}, X^{(SP)}$ – підмножини первинних (виміряних безпосередньо у пацієнта) і вторинних (отриманих при обробці мамограм) діагностичних ознак;

$X^P = \{x_i^P | i \in \{1, \dots, n_X\}\}$ – множина діагностичних ознак, які виміряні у пацієнта;

$D = \{d_k | k \in \{1, \dots, n_D\}\}$ – множина можливих діагностичних станів, тобто алфавіт діагнозів;

$D^P = \{D_i^P | i \in \{1, \dots, n_D\}\}$ – множина діагностичних висновків, які встановлені пацієнтам;

S_X, S_D – ієрархічні структури діагностичних ознак і діагностуємих станів відповідно;

$T = \{t_{SPX}, t_{SP^P X^P}, t_{X^P D^P}\}$ – множина відображень між відповідними множинами;

Q_t – множина критеріїв відображень t ; $n_X, n_{SP}, n_D \in N$ – потужності відповідних множин; N – множина натуральних чисел.

Відображення t_{SPX} задає алгоритм, а $t_{SP^P X^P}$ реалізує процедуру морфологічного аналізу мамограм [3] і формує вектор вторинних діагностичних ознак.

Відображення $t_{X^P D^P}$ реалізує діагностичне вирішальне правило під керуванням ієрархічних структур S_X і S_D [4].

Таким чином, розроблена математична модель МО пацієнта, за допомогою якої виконана формалізація знань, що формуються в результаті всіх етапів обробки.

III. ВИСНОВКИ

Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття рішень при проведенні мамографічних обстежень на основі розробки функціональної, структурної та математичної моделі, які дозволяють підвищити достовірність і обґрунтованість лікарських рішень та мінімізувати ризики лікарських помилок.

Запропоновані моделі є основою для розробки узагальненої структурної схеми системи підтримки прийняття рішень процесу мамографічних обстежень з метою підвищення ефективності надання медичних послуг.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Современные стандарты анализа лучевых изображений: руководство для врачей / Т.Н. Трофимова, А.В. Мищенко, Б.А. Минько и др.; под ред. проф. Т.Н. Трофимовой. – СПб.: Балтийский медицинский образовательный центр, 2017. – 300 с.
- [2] Поворознюк А.І. Формалізація етапів мамографічних обстежень в медичних системах підтримки прийняття рішень / А.І. Поворознюк, Х. Шехна // Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання"; матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції, м. Івано-Франківськ, 20-25 травня 2019 року. – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2019. – С. 97-101.
- [3] Филатова А.Е. Морфологическая фильтрация полутоновых изображений на основе локальных статистик / А.Е. Филатова // Автоматизированные технологии и производства. – 2016. – №3(13). – С. 33-39.
- [4] Поворознюк А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / А. И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с.

Вибір Інформаційної Платформи для Відображення Міграційних Процесів Наукових Кадрів

Євген Самородов
Відділ прикладного нелінійного
аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім.
Ігоря Сікорського
Київ, Україна
esamor2@gmail.com

Ольга Морева
Відділ прикладного нелінійного
аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім.
Ігоря Сікорського
Київ, Україна
olga_moreva@ukr.net

Алла Патіоха
Відділ прикладного нелінійного
аналізу
ННК «ІПСА» КПІ ім.
Ігоря Сікорського
Київ, Україна
alla_patio@ukr.net

Choosing an Information Platform to Display the Migration Processes of Scientific Personnel

Eugene Samorodov
Department of Applied Nonlinear
Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
esamor2@gmail.com

Ольга Морева
Department of Applied Nonlinear
Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
olga_moreva@ukr.net

Алла Патіоха
Department of Applied Nonlinear
Analysis
"IASA" Igor Sikorsky Kyiv
Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
alla_patio@ukr.net

Анотація— Розглянуто вибір інформаційної платформи для вивчення і моделювання процесів міграції наукових кадрів

Abstract— The choice of an information platform for studying and modeling the processes of migration of scientific personnel

Ключові слова— міграція, реляційна картографія, геоінформаційні системи

Keywords— migration, relational mapping, geographic information systems

У процесі глобалізації світової економіки все більш важливим фактором економічного, соціального та демографічного розвитку багатьох країн стає інтелектуальна міграція. Це обумовлено тим, що використання нових передових технологій передбачає наявність висококваліфікованих фахівців. При цьому сучасна інноваційна діяльність все більшою мірою спирається на результати фундаментальних наукових досліджень і вимагає прискорення їх впровадження в практику, що підвищує роль «людського капіталу» в економічному та соціальному розвитку.

Зараз державні кордони перестають бути перешкодою для переміщень учасників світового ринку науково-технічних кадрів, вчених, висококваліфікованих фахівців і студентів. Відповідно зростає роль ефективного управління цими процесами.

Основна причина «відпливу умів» - глибока криза вітчизняної науки в зв'язку з переходом країни до ринку і відкриття кордонів, що супроводжувалась скороченням внутрішніх витрат на дослідження та розробки. Для вчених і висококваліфікованих фахівців вельми значущим є незадоволеність можливостями реалізації свого творчого та наукового потенціалу з наступних причин:

- недостатнього фінансування науки, і матеріально - технічного забезпечення дослідницького процесу;
- низької матеріальної та моральної оцінки праці вчених;
- низького рівня науково - інформаційного забезпечення теоретичних досліджень і розробок, відсутності сучасного наукового обладнання;
- незахищеності прав власності на продукт інтелектуальної праці;

- політичних (криза політичної влади та невіра в можливість швидкої демократизації і прогрес ринкових реформ, політична нестабільність, порушення прав людини, загострення міжнародних відносин).

Більшість міграцій відбувається з країн, що розвиваються або не мають можливості підтримувати науку на відповідному рівні. Ці країни інвестували в освіту та навчання фахівців, і коли ці люди мігрують, це означає втрату значних ресурсів, при цьому пряма вигода накопичується державами-одержувачами, які не відклали витрат на навчання. Інтелекція будь-якої країни є одним з найдорожчих ресурсів через їхню підготовку з точки зору матеріальних витрат та часу, а головне - через втрачені можливості.

З метою мінімізації втрат від «відпливу умів» необхідно адекватно реагувати на постійно мінливу ситуацію в світі і мати свою стратегію і тактику в цьому питанні, засновану на наукових дослідженнях. Першим кроком в дослідженні проблеми є вибір інструменту для роботи з інформацією та правильна постановка завдань і цілей.

Для того, щоб оцінити вплив факторів на міграцію, необхідно задіяти величезні масиви даних з різних областей знань. Особливу увагу слід приділити власне даним. Як правило, численні соціологічні дані погано структуровані, зберігаються на різних сховищах, на різних мовах і в різних форматах і для їх обробки необхідно застосовувати спеціальні методи. Найбільш придатними форматами даних з точки зору сумісності є інструкції INSPIRE. Відповідно до цих стандартів можливо комбінувати дані з різних джерел, повторно їх використовувати, застосовуючи розподілену сервісній архітектуру (SOA).

З огляду на розподіленість даних в просторі і часі для їх аналізу зручно використовувати геоінформаційні технології, а саме методи реляційної картографії, які визначаються як узгодження мистецтва, науки і технології, виготовлення та використання повторюваних відношень в картографічних системах.

Дуже важливим моментом є уявлення, публікація та розповсюдження результатів роботи, які повинні бути доступні як фахівцю, так і звичайній людині. Найбільш інформативним є представлення результатів досліджень у вигляді спеціалізованих атласів, які містять текстову інформацію, таблиці і карти та працюють в єдиному середовищі.

Дослідження атласних інформаційних систем показало, що дослідження динаміки методами реляційної картографії мають стійко повторювані конструкції. Такі конструкції реалізовані в каркасі атласних рішень AtlasSF, який складається з таких патернів як:

- інтерфейс користувача,
- дерево змісту,
- базова карта,
- тематичні карти,
- картографічний компонент,
- пошук,
- некартографічний контент,
- представлення, а також з каркасу архітектури.

Реалізована таким чином система відмінно себе зарекомендувала в виконанні таких проектів, як Електронна версія Національного атласу України, атлас радіоактивного забруднення, та багатьох інших.

Як інтернет реалізації процесів збору, зберігання та обробки інформації зручно використовувати Giscuit (<http://giscuit.com>) систему, яку побудовано на відкритому коді і яка дозволяє одночасно працювати необмеженій кількості користувачів і функціонує на комп'ютерах і мобільних пристроях.

Щоб впоратися з величезною кількістю структурованих і неструктурованих даних, необхідно використовувати сервіси метаданих. Зазначені рішення підтримують такий сервер метаданих, як GeoNetwork. Ця програма для каталогізації з відкритим вихідним кодом (FOSS) для просторово пов'язаних ресурсів.

Реалізацію спільного використання AtlasSF, Giscuit і GeoNetwork було виконано при реалізації Дунайського проекту.

Висновок: для дослідження міграційних процесів наукових кадрів рекомендується використовувати такі продукти: AtlasSF, Giscuit і GeoNetwork, а в якості моделі даних використовувати вимоги INSPIRE для сумісності роботи з європейськими фахівцями в галузі використання, збору і обробки даних, а також використання існуючих моделей досліджень і створення нових інструментів аналізу.

ЛІТЕРАТУРА (REFERENCES)

- [1] В. Чабанюк Реляційна картографія: Теорія та практика.- Київ: Інститут географії НАН України, 2018.- 525 с.
- [9]. [Online]. Available: <https://igu.org.ua/uk/node/22240>
- [2] В. Чабанюк, Є. Самородов. Основи практично корисного порівняння рівнів розвитку областей України: результати і проблеми. III Міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми фундаментальних наук», Луцьк-Світязь 01-05 червня 2019 р. Вежа-друк - 303с.
- [10].

Хмарні Технології для Навчання та Досліджень

Олена Смалько
кафедра інформатики
Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
Кам'янець-Подільський, Україна
smalko.olena@kpnpu.edu.ua

Cloud Technologies for Education and Research

Olena Smalko
dept. of Computer Science
Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohiienko University
Kamianets-Podilskyi, Ukraine
smalko.olena@kpnpu.edu.ua

Анотація—У статті окреслено переваги сучасних хмарних технологій у підтримці навчальної діяльності та наукових досліджень. Проаналізовано можливості використання різних Інтернет-ресурсів, веб-застосунків і онлайн-редакторів, які можуть бути корисними для самостійного здобування знань і вмінь, для організації дистанційного навчання. Наводяться різноманітні веб-сервіси, що можна рекомендувати для застосування у підготовці студентів, зокрема педагогічних спеціальностей. Також перелічуються поширені інформаційні сервіси, що можуть знадобитися молодим науковцям у початкових теоретичних дослідженнях.

Abstract—The article outlines the benefits of modern cloud technologies in support of learning and research. The author analyzes the possibilities of using various Internet resources, web applications and online editors, which can be useful for self-acquisition of knowledge and skills, for the organization of distance learning. The work provides various web services that it is desirable to use in student learning, including those who acquire pedagogical specialties. The author also lists common information services young scientists may need in their initial theoretical studies.

Ключові слова—хмарні технології; хмарні сервіси; онлайн-застосунки; веб-застосунки; онлайн-навчання

Keywords—cloud technologies; cloud services; online applications; web applications; online learning

I. ВСТУП

Останнім часом все активніше Інтернет-користувачі послуговуються хмарними технологіями, які допомагають розширювати можливості отримання нових знань, умінь та навичок. На усіх освітніх рівнях у навчальних цілях викладачі використовують хмарні сервіси, робота з якими сприяє значному урізноманітненню навчального процесу, збагаченню його додатковими інформаційними впливами, наочними засобами та ефективними інструментами.

Неосяжні можливості надає Інтернет для самоосвіти та розширення кругозору своїх користувачів. Різні помічні інформаційні веб-ресурси, електронні бібліотеки, колекції науково-популярних і пізнавальних фільмів, онлайн-платформи та освітні портали з мультимедійними навчальними матеріалами, масові відкриті онлайн-курси, тематичні вебінари, онлайн-тренінги й консультації провідних фахівців — все це організовується і функціонує для задоволення потреб зайнятих самонавчанням людей. Якісна цифрова графіка, потужний інструментарій комп'ютерного моделювання, сучасні технології веб-програмування, а також вбудовані у веб-застосунки функції, що допомагають створити ефект присутності користувача в тій чи іншій точці, максимально сприяє формуванню надзвичайно комфортних умов для здобування додаткової освіти усіма бажаними.

Для науковця-початківця й для вченого з великим досвідом роботи в Інтернеті знайдеться багато цікавих веб-сайтів з корисними публікаціями, дописами відомих колег-науковців, знавців у тій чи іншій царині науки, галузі життєдіяльності, які можуть знадобитися в подальших теоретичних наукових розвідках. Також величезна кількість онлайн-платформ надає по-різному організований доступ до численних сервісів, через які можна підтримувати деякі етапи емпіричних досліджень.

Метою публікації є аналіз можливостей використання сучасних хмарних технологій у підтримці навчальної та наукової діяльності.

II. ПОШИРЕНІ ВЕБ-ПРОЕКТИ ДЛЯ ЗДОБУВАННЯ І СИСТЕМАТИЗАЦІЇ ЗНАТЬ

Студенти та усі, в кого є потреба ефективно використовувати хмарні технології в освітніх і дослідницьких цілях, мають спочатку познайомитись з основами функціонування цих технологій, з тенденціями та перспективами розробки "хмарних" проектів для потреб

освіти і науки. Варто проаналізувати принципи утворення Європейського наукового простору, в якому інтегруються всі науково-дослідні ресурси Європейського Союзу, ознайомитись з цілями заснування проекту Європейської хмари відкритої науки, в якій формується інфраструктура, що надаватиме користувачам послуги для сприяння розвитку відкритих наукових практик, а також з призначенням і особливостями європейської Інтернет-мережі GÉANT, з поточним етапом її розвитку та з корисними інструментами Української науково-освітньої телекомунікаційної мережі URAN.

Залежно від спеціалізації, зацікавлені особи можуть проводити дослідження вмісту веб-сторінок відповідних відділів або секцій Національної академії наук України, на які, зокрема, є посилання на веб-сайті nas.gov.ua. Студентам, наприклад, можна дати завдання знайти певні оцифровані матеріали наперед визначеної тематики, використовуючи можливості пошукових інструментів на таких Інтернет-порталах, як: в Українській цифровій бібліотеці (elib.org.ua), у Світовій цифровій бібліотеці (wdl.org), у Вільній бібліотеці (openlibrary.org), у Європейській цифровій бібліотеці "Європіана" (europeana.eu), в Інтернет-архіві (archive.org), в онлайн-бібліотеці "Галліка" (gallica.bnf.fr), на сайті проекту "Гутенберг" (gutenberg.org) тощо. Через сервіс "Google Книги" (books.google.com.ua) знайти посилання на книги, що співзвучні з тематикою курсового/дипломного дослідження. Варто також спробувати пошукати потрібну літературу через Інтернет-портал Електронної бібліотеки Національної академії педагогічних наук України (lib.iitta.gov.ua) та використовуючи вільну пошукову систему "Google Академія" (scholar.google.com).

Заохочуючи студентів до наукових досліджень, викладачі повинні пояснити їм призначення міжнародних наукометричних та реферативних баз даних, а також особливості їх використання, щоб у подальших наукових зверненнях молоді вчені-дослідники вміли ними послуговуватись.

III. КОРИСНІ ВЕБ-РЕСУРСИ ТА ОНЛАЙН-ЗАСТОСУНКИ

Студенти, які здобувають педагогічні спеціальності, мають навчитися ефективно застосовувати різноманітні сервіси для підтримки навчальної діяльності.

Задля отримання досвіду створення блогів і сайтів спочатку варто дослідити структуру декількох найбільш цікавих інформативних веб-ресурсів, наприклад, сформованих провідними вченими чи знайомими викладачами, а потім проаналізувати функціональні можливості веб-застосунків, за допомогою яких подібні сайти можна створювати самому, зокрема без знання мови розмітки гіпертекстових документів. Для цього у пригоді розробникам-початківцям можуть стати такі сервіси, як blogger.com, sites.google.com, webnode.com.ua, nethouse.ua, hostingr.com.ua/sozdat-sait, ucoz.ua тощо.

Вивчаючи корисні для навчання хмарні сервіси, варто значну увагу приділити ознайомленню з технологією дистанційного навчання і з конкретними онлайн-засобами,

за допомогою яких можна його організувати. При цьому варто розглядати і повноцінні системи управління навчанням, і застосунки, що є досить помічними для забезпечення комунікації суб'єктів навчальної діяльності, і веб-послуги, орієнтовані на створення візуального контенту (у тому числі з елементами інтерактивної взаємодії).

При організації онлайн-навчання рекомендується використовувати веб-застосунки, призначені для розробки тематичних онлайн-дошок (наприклад, padlet.com, scribblar.com, popplet.com, mural.co тощо), хмарні сервіси для створення презентацій, у тому числі шаблонних, інтерактивних і скрайбінг-презентацій. Приклади окремих сервісів для розробки презентацій і слайд-шоу, з якими варто навчити працювати студентів: prezi.com, slides.com, knovio.com, vcasmo.com. Якісні демонстраційні матеріали можна створювати також за допомогою інструментів прискореної розробки, що пропонуються, наприклад, такими онлайн-редакторами, як canva.com і crello.com.

Варта уваги й технологія захоплення відео з екрану комп'ютера (скрінкастингу). Приклад хмарного сервісу, який можна використовувати у розробці таких відеороликів з паралельним коментуванням дій у ході запису, — screencast-o-matic.com.

Корисними для педагогічної діяльності є онлайн-редактори для роботи з графічними зображеннями, в яких реалізовано функції опрацювання растрових і векторних ілюстрацій (деякі приклади таких редакторів: editor.pho.to, editor.method.ac, pixlr.com/web, galacticmilk.com/sketchpad, sumopaint.com, photoshop-online.biz), а також веб-сервіси, що допомагають створювати фотоколажі.

У роботі по формуванню мультимедійного контенту педагогу знадобляться он-лайн редактори для редагування відеофайлів (наприклад, life2film.com, wevideo.com, kizoa.com, animoto.com, magisto.com) і різноманітні веб-застосунки, орієнтовані на опрацювання аудіоматеріалів (редагування, обрізання, склеювання звукових фрагментів тощо). Звісно, популярними серед педагогів є веб-застосунки, користуватись якими можна безплатно.

Існують такі Інтернет-платформи, що надають послуги організації онлайн-навчання та проведення вебінарів на безоплатній основі. Щоправда, як правило, такі послуги є вельми обмеженими, зокрема, по кількості учасників, що беруть участь у таких онлайн-зустрічах. Приклади подібних платформ: meet.google.com, proficonf.com, myownconference.com.ua.

IV. ВИСНОВКИ

Асортимент онлайн-послуг постійно збагачується і вдосконалюється на вимогу часу та завдяки появі прогресивних технологій веб-розробки. Дане дослідження можна продовжувати безупинно, доповнюючи його новими та корисними хмарними сервісами, що з успіхом для своєї науково-дослідної і навчальної діяльності зможуть використовувати фахівці різноманітних галузей науки та сфер життя людини.

Впровадження Елементів Електронної Учасі у Навчальних Закладах на Основі Досвіду Впровадження Державних Інструментів Електронної Демократії в Україні

Олексій Фразе-Фразенко
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
frazenko@gmail.com

Іван Копиченко
Програма «Електронне врядування задля
підзвітності влади та участі громадян»
Одеса, Україна
iukopichenko@gmail.com

Implementation of E-participation Elements in Educational Institutions Based on Experience of E-democracy State Instruments Implementing in Ukraine

Oleksii Frazе-Frazenko
dept. of information technologies
Odesa State Environmental University
Odesa, Ukraine
frazenko@gmail.com

Ivan Kopychenko
E-Governance for Accountability
and Participation Program
Odesa, Ukraine
iukopichenko@gmail.com

Анотація—Електронна чи цифрова демократія базується на використанні сучасних цифрових та інформаційних технологій для посилення участі громадян у розробці державної політики, підвищення прозорості та підзвітності уряду, зміцнення навичок громадян та усвідомлення переваг використання ІТ для суспільного життя. В останні роки Україна значно просунулася в галузі е-демократії. Нещодавні поправки до Закону України «Про звернення громадян» запровадили механізм подання петицій та звернень в електронній формі. Розроблено законопроекти щодо електронних петицій та підрахунку eVote на виборах до органів місцевого самоврядування. Однак, незважаючи на відносно високий розвиток інструментів е-участі на національному або регіональному державному рівні, участь громадян на місцевому рівні все ще залишається недосяжною мрією. Наприклад, інструментів електронної участі бракує на рівні студентського самоврядування, що має стати рушійною силою у створенні демократичних процесів та процедур.

Виходячи з національного досвіду впровадження інструментів е-демократії в Україні, можна зазначити, що використання таких інструментів на нижчому місцевому рівні, а саме в державних університетах, може значно збільшити залучення студентів та співробітників до діалогу, державної політики, прийняття рішень, моніторинг та контроль.

Abstract—Electronic or digital democracy is based on the use of modern digital and information technologies to enhance citizen participation in public policy-making, increase government transparency and accountability, and strengthen citizen skills and awareness of the benefits of using IT for public life. In recent years, Ukraine has advanced significantly in the field of eDemocracy. Recent amendments to the Law of Ukraine «About Citizens' Appeals» introduced a mechanism for submitting petitions and appeals in electronic form, developing bills on eVoting and eVote counting at local government elections. However, despite the

relatively high development of eParticipation instruments at national or regional state level, citizen participation at the local level still remains an unattainable dream. For example, eParticipation tools are lacking at the level of student self-government, which should be a driving force in creating democratic processes and procedures. Based on national experience in implementing eDemocracy tools in Ukraine, it can be noted that the use of such tools at a lower local level, namely in public universities, could significantly increase the involvement of students and staff in dialogue, public policy, decision-making, monitoring and control.

Ключові слова— eDemocracy, eParticipation, eVoting, Інтернет, університет, студенти, участь молоді, інформаційні технології, політика.

Keywords— eDemocracy, eParticipation, eVoting, internet, university, students, youth participation, information technologies, digital, politics.

I. INTRODUCTION

Various IT technologies have become an integral part not only in the environment around us, but also actively developing as a component of our socio-political life. Global experience shows that effective use of modern digital technologies can have a positive impact on democratic processes, such as increasing transparency and promoting accountability. eDemocracy tools help fight corruption, provide citizens with all the information they need, and actively engage them into decision-making process at the state level. Despite its rapid development, eDemocracy in Ukraine remains a relatively new concept.

The Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 797-r of November 8, 2017 approved the Concept of e-democracy development in Ukraine (hereinafter - the National concept of eDemocracy) and approved the plan of measures for its implementation. The main purpose of this Concept is to create political, organizational, technological and ideological conditions for the development of eDemocracy in Ukraine, characterized by an increase in citizens' involvement in communication, cooperation, control, participation in policy making, development of self-organization and self-government, as well as the level of trust in the authorities.

The concept of development of eDemocracy in Ukraine defines the term eDemocracy such as: «eDemocracy is a form of social relations in which citizens and organizations are involved in government and public administration, and local self-government through the widespread use of information and communication technologies in democratic processes, enabling: to increase participation, initiative and citizen engagement at the national, regional and local level to public life; improve the transparency of decision-making and accountability of democratic institutions; improve the response of public authorities to citizens' appeals; to facilitate public discussions and to draw citizens' attention to the decision-making process»[1]. eDemocracy (also known as «digital democracy») is based on the use of modern accessible digital technologies and aims at developing civil rights and freedoms, engaging new ways of citizen participation in decision-making processes, developing social policy and government processes,

and engaging citizens in the social, political, and economic development of their community. It aims to reinforce basic concepts of good governance, such as:

- transparency;
- accountability;
- participation;
- civic education.

eDemocracy is not intended to replace ordinary democracy. Its` tools should be created and implemented as a way to strengthen democracy in the country by digitizing existing democratic mechanisms (eg electronic appeals, as a digital analogue of citizen appeals in paper form). With the effective use of information technology, they can help the government to introduce new tools for civil society participation in government, and for citizens to engage in political life in alternative and more convenient ways. By enhancing citizens' involvement in political and social processes, eDemocracy can directly influence the level of social integration, reciprocity, and empowerment that underpins a modern democratic state. It should be noted that the new approach to quality governance identifies citizens as the main actors through the use of electronic services. That is why state processes must now be formed to provide bottom-up participation opportunities.

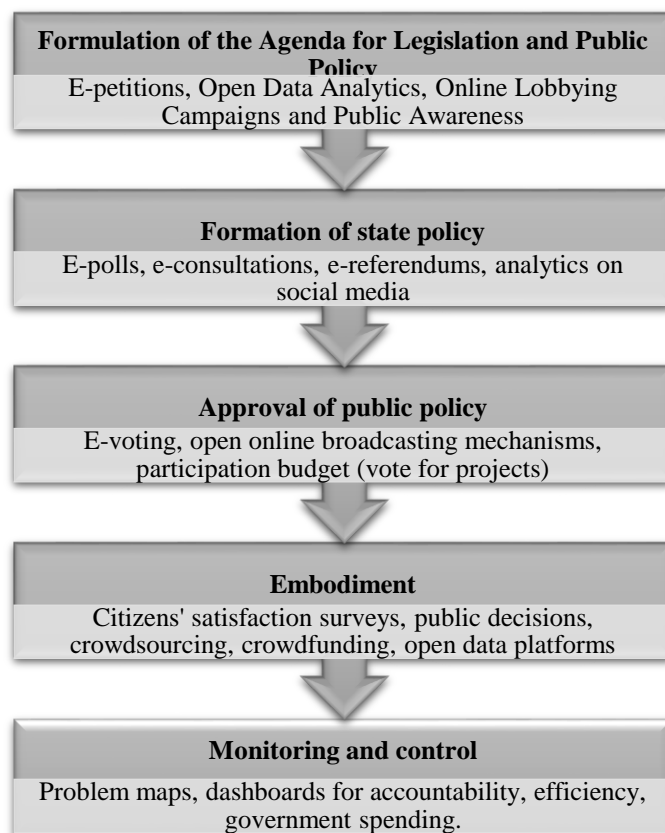


Fig.1. The process of public policy making and the use of appropriate online tools

II. MAIN PART

Instruments of eDemocracy at national and local levels

Recommendations of the European Union on the development of eDemocracy can be considered as one of the most successful regulatory bases for consolidating the plan and principle of development of eDemocracy instruments [2]. These recommendations were adopted in 2009 and included six guidance documents. Indicative Guide No.1 «Generic tools and policies for an electronic democracy» [3] provides an extensive list of possible eDemocracy tools, namely:

- eCampaigning;
- eCitizen Relationship Management (eCiRM);
- eComplaints;
- eConsultation;
- eConsulate / eEmbassy;
- eDemocracy Games;
- eDemocracy Webcasts;
- eDiscussion;
- eInitiative;
- eJournalism;
- eJustice;
- eLegislation;
- eOmbudsman and Audit Institutions;
- eParliament;
- eParty (external);
- ePetition;
- ePolitician;
- eSpatial Planning (eNeighbourhood);
- eVoting.

In 2019, ePetitions, eAppeals, public budgets (also known as «participation budgets») and eConsultations have become most prevalent at the national level in Ukraine. It should also be noted that over last 3 years, resources have been developing rapidly to publish public data sets in the form of open data and aggregation tools, which may also combine several eParticipation tools.

Electronic petitions. The Law of Ukraine «About Citizens' Appeals» defines an electronic petition as a special form of collective petition of citizens to the President of Ukraine, the Verkhovna Rada of Ukraine, the Cabinet of Ministers of Ukraine or a local government body [4]. Electronic petitions draw attention to the problems of the citizens, whose solution is impossible without the intervention of the authorities. Any citizen can initiate and register a petition and vote for it. Information about the problem raised by the petition, the number of votes and the results of real-time voting should be made available to the public.

The public budget. The main purpose of the public budget is to empower citizens and NGOs to propose their own local development projects and influence the allocation of a certain share of the budget funds by voting for certain projects.

Consultation with the public. This tool is aimed at building a direct dialogue between the authorities and the community. Through public consultation, LGs have the opportunity to take into account residents' proposals on urban and community development, to discuss draft documents prior to their review and approval, and to conduct polls to explore the views of the active community.

It is also important that community surveys can also be initiated. Further details on the types of public consultation [5] that underlie the e-consultation tool are provided in Table 1

Table 1. Types of public consultations

Individual	Collective
Poll	Consultative / advisory groups or committees
Questionnaire	Public councils
Interview	Public hearings
Expert assessments	Focus groups
Individual counseling (or meeting for advice)	Research
Open hours	Reconciliation conferences
Written consultations	Public jury
	Tripartite commissions and joint working groups
	Public Forums

Based on the current global experience in implementing e-democracy tools, it can be concluded that these instruments are generally developing in four main areas:

1) Transparency: 24/7 online public access to public information through convenient and up-to-date government websites, online video feeds of government meetings, open budgets and open data sets, e-Parliament (voting information and roll-call lists).

2) Electronic participation: electronic petitions, appeals, public consultations, referendums, voting and polls; development of community participation budgets and interactive tools that enable community involvement in urban planning.

3) Accountability: the response of the authorities to electronic appeals and requests from citizens, online coverage of the activities of public figures (information about parliamentary activities), provision of administrative services in electronic form, monitoring of political parties.

4) Civic education: using government, civil society or the media with modern digital technologies to bring to the public information about their rights or opportunities, and to cover pressing political issues.

The use of modern digital technologies in the interaction with human resources is important for better interaction with society in the management process. IT provides modern, accessible channels of communication that are important for

collaboration and discussion among different actors in the process of using services and providing information. Innovations in IT open up greater opportunities for interaction between actors and governments, and in our case, students, staff, and senior management. Drawing on the experience of national instruments of eDemocracy, we can say that in higher education they can be used to expand areas such as:

Transparency and accountability. Monitoring remains a core principle of governance, ensuring a high level of transparency and accountability to the community. All entities involved in the formation and execution of internal processes are entitled to receive up-to-date and comprehensive information. Tools that can be used to achieve transparency and accountability can be information websites, chatbots, or open data sources.

eParticipation. In the traditional sense, citizens' participation is limited to their participation in electoral votes. But in recent years, citizens have become increasingly regarded as partners of government and directly involved in public policy making and decision-making by voting for projects or changes. This experience of using modern electronic voting tools can help higher education institutions conduct more transparent and democratic voting processes, not only during student council elections or the election of the rector, but also when important changes or initiatives are discussed.

eDialog and eInteraction. Governance best practices are based on building relationships between government and society. Reciprocity is an integral part of governance, and communication is important for building interactive relationships in society and for creating centers of active civil society. For higher education institutions, building successful practices of dialogue between management, staff, and students can be crucial in the process of reforming and finding new vectors of development. Dialogue is a key element in creating a supportive environment and not only helps you hear the bottom line, but also helps streamline your proposals in a bottom-up format. These tools include not only e-Polls and e-Discussion, but also a variety of interactive hit tools, such as online maps or whiteboards.

III. CONCLUSION

On June 12, 2019, the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 405-p approved the Action Plan for the Implementation of the Concept of eDemocracy Development in Ukraine for 2019-2020. Paragraph 2 of this Plan defines measures for the introduction of e-democracy in higher education institutions, in particular the introduction of electronic voting tools in the activities of student self-government bodies. This task should be carried out by representatives of the Ministry of Education and Science of Ukraine, the Ministry of Justice of Ukraine and the Ministry of Digital Transformation of Ukraine with the involvement of NGOs, such as the «Government Accountability and Community Involvement Program» (EGAP). As a result of these measures, at least five higher education institutions are expected to be able to use e-democracy tools. All this tells us that in 2020 Ukraine should take the first step towards meeting the introduction of eParticipation tools in higher education.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 8, 2017 No. 797-p "On approval of the Concept of e-democracy development and plan of measures for its implementation", <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/797-2017-y/ed20171108>.
- [2] Recommendation CM / Rec (2009) 1 of the Committee of Ministers to Member on Electronic Democracy (e-democracy), https://www.coe.int/t/dgap/goodgovernance/Activities/Key-Texts/Recommendations/Recommendation_CM_Rec2009_1_en_PDF.pdf.
- [3] Indicative Guide No.1 to Recommendation Rec (2009) 1 of the Committee of Ministers on member states on e-democracy. Generic tools and policies for an electronic democracy, https://www.researchgate.net/publication/275098217_Indicative_Guide_1_Electronic_Democracy_e-democracy_Recommendation_CMRec_2009_1_Adopted_by_the_Committee_of_Ministers_of_the_Council_of_European_European
- [4] The Verkhovna Rada of Ukraine, Law of Ukraine "On Citizens' Appeals", <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/393/96-vr#n145>
- [5] International Center for Policy Studies, Guide to Public Consultation, http://icps.com.ua/assets/uploads/images/files/manual_on_public_consultations_icps_.pdf

СЕКЦІЯ 3.

**Теорія інформації, кодування,
перетворення форми, цифрової обробки
та ущільнення інформації**

SECTION 3.

**Information theory, coding
and information form transformation**

Загальні Принципи Побудови Систем Числення

Олексій Борисенко

кафедра електроніки і комп'ютерної
техніки

Сумський державний університет
Суми, Україна

o.borysenko@ekt.sumdu.edu.ua

Ігор Кулик

кафедра електроніки і комп'ютерної
техніки

Сумський державний університет
Суми, Україна

i.kulyk@ekt.sumdu.edu.ua

Марина Шевченко

кафедра електроніки і комп'ютерної
техніки

Сумський державний університет
Суми, Україна

m.shevchenko@ekt.sumdu.edu.ua

General Principles Construction of Number Systems

Olexiy Borysenko

dept. of Electronics and Computer
Technics

Sumy State University
Sumy, Ukraine

o.borysenko@ekt.sumdu.edu.ua

Igor Kulyk

dept. of Electronics and Computer
Technics

Sumy State University
Sumy, Ukraine

i.kulyk@ekt.sumdu.edu.ua

Maryna Shevchenko

dept. of Electronics and Computer
Technics

Sumy State University
Sumy, Ukraine

m.shevchenko@ekt.sumdu.edu.ua

Анотація—В роботі викладені основи загальної теорії систем числення, яка базується на фундаментальних положеннях як теорії кодування, так і теорії чисел. Надані та проведений аналіз принципів, яким повинні відповідати сучасні системи числення.

Abstract—The rudiments of general number system theory are stated in the paper. It is founded on fundamental propositions both coding theory and number theory. Principles for contemporary number systems to be matched are given and analysed.

Ключові слова—системи числення; кодування чисел; принципи систем числення

Keywords—number systems; numbers coding; number system principles

I. ВСТУП

На сьогодні є багато матеріалу про системи числення і історію її розвитку, але відсутня систематична теорія їх побудови, яка б включала в себе як позиційні так і непозиційні системи числення і серед останніх завадостійкі системи, такі як фібоначієва і їй подібні. Однак до цього часу немає чіткого уявлення, до якої математичної науки відноситься теорія систем числення і які принципи лежать в її основі. Інколи вважається, що теорія систем числення є розділом теорії чисел, але це не зовсім так.

Під системою числення розуміється множина знаків, кожен з яких зображає одне і тільки одне число, а в сукупності деяку кінцеву кількість чисел. Під це визначення підпадає будь-яка система числення як

позиційна, так і непозиційна з тією різницею, що в позиційній системі числення знаками будуть послідовності цифр, які нею генеруються. Позиційні системи числення з'явилися значно пізніше ніж непозиційні, уже в наш час. Вони були відомі давно, наприклад римська нумерація, хоча в ній уже були елементи позиційного рахунку. Однак до 12 століття хоча б однієї повноцінної позиційної системи числення в сучасному її розумінні не було, і тому рахувати було дуже складно. Але і після появи десяткової позиційної системи числення, яка відповідала всім вимогам до позиційних систем числення закінченої теорії позиційних систем числення не було створено, тому що була відома лише десяткова система числення, яка всіх влаштувала.

Достоїнством десяткової позиційної системи числення було те, що вона могла за простими правилами отримувати необмежену кількість чисел, упорядковувати їх і виконувати над ними арифметичні операції. Тому перші комп'ютери створювалися на її основі. Однак з'ясувалося, що для цієї мети більш придатною є двійкова система числення. Її достоїнства - це простота виконання арифметично-логічних операцій і можливість будувати прості і надійні цифрові пристрої.

II. ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ТЕОРІЇ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ

Навність двійкової системи числення і інших подібних систем поставило задачу розробки загальної теорії систем числення, яка б їх систематизувала, і дозволила синтезувати нові системи числення з заданими властивостями. Така необхідність диктується подальшим

розвитком комп'ютерної техніки, яка потребує більш ефективних методів обробки інформації. Тому постає задача розробки узагальненої теорії систем числення, яка б дозволяла синтезувати системи числення з заданими властивостями і порівнювати їх між собою.

Особливістю теорії систем числення є те, що вона повинна займатися задачами кодування чисел, а не вивченням їх властивостей, як це робить теорія чисел. Тобто теорія систем числення це розділ теорії кодування, яка в свою чергу відноситься до теорії інформації. Однак і теорія чисел вивчає способи подання чисел. Тому також можна вважати, що теорія систем числення є також і розділом теорії чисел. Тому для розробки повноцінної теорії систем числення треба використовувати обидві теорії.

При цьому в цих теоріях розрізняється кількість і число, яке цю кількість виражає. Кількість це інформація, а от число зображає цю кількість її кодуванням. Кількість завжди одна, а чисел які зображають її в різних системах числення може бути необмежено багато. Так десяткове число 5 зображає кількість, яка дорівнює 5 об'єктам. Однак 12 в трирічній системі числення теж зображає цю кількість, як і число 101 в двійковій системі числення. тобто кількість являє собою річ в собі, яку ніколи не можна реально осягнути. А от числа 5, 12 і 101 це феномени, які зображають число 5, тобто це речі для нас, і їх може бути стільки, скільки є систем числення

Системи числення – це системи кодування, яких може бути як завгодно багато, і з їх допомогою можна зображати одну й ту ж кількість. Питання лише в тому, як вибрати найбільш ефективну систему числення для цього. Наприклад, десяткова система числення існує багато століть і не виходить з ужитку і сьогодні. Однак в комп'ютерній техніці їй на заміну прийшла двійкова система числення, як найбільш пристосована до її задач. Але і десяткова система числення в вигляді двійково-десяткової системи використовується в комп'ютерній техніці, тому що має для ряду її задач значні переваги в порівнянні з двійковою системою, і в першу чергу це більш короткий запис її чисел. І ці переваги десяткової системи, як і інших систем числення, виявляє загальна їх теорія.

В основі цієї теорії лежать принципи, яким повинні відповідати сучасні системи числення.

III. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ

Перший з них – це принцип *унітарності*. Тобто кожне число, системи числення відображає свою тільки йому притаманну кількість. Дійсно, кожна кількість, наприклад, в десятковій чи двійковій системі числення зображується одним числом. Однак існують так звані зважені числа, які кодують десяткові числа, де цей принцип порушений. Вони теж знаходять застосування на практиці, але вже не як числа, а як кодові комбінації.

Другий принцип – це принцип *префіксності*, який має значення, коли числа мають різну довжину. Вони теж ефективно використовуються на практиці, але вони складніші, чим числа однакової довжини. Цей принцип стверджує, що ніяке число в одній і тій же системі числення

не може бути початком будь-якого іншого числа, яке відноситься до цієї системи числення. Наприклад, число 12, не може бути в десятковій системі числення, в якій є число 123, тому що 12 є префіксом числа 123. Якщо це не так, то одній і тій же кількості будуть відповідати 2 числа 12 і 123, що порушує принцип однозначності і призводить до логічного протиріччя.

Третій принцип – це принцип *універсальності*, коли числам системи числення надається можливість вирішувати як задачу визначення кількості, так і задачу їх упорядкування в сторону збільшення, чи зменшення. Наприклад, число п'ять говорить про кількість об'єктів в їх множині, а п'ятий об'єкт показує місце об'єкта за порядком серед інших об'єктів, тобто, що він є наступний після числа 4. Відповідно до цих задач Кантором створена теорія кількісних, а Пеано порядкових чисел. Теорія систем числення також вирішує ці дві задачі, але уже в практичній площині. Відповідно вимагається, щоб кожне число системи числення одночасно виконувало як функцію порядку, так і функцію кількості.

Четвертий принцип – це принцип *порівняння*, коли система числення надає можливість порівнювати кількості між собою за їх зображенням на більше, менше, і тим самим упорядковувати їх по величині. Далеко не всі системи числення можуть виконати цей принцип. Наприклад, цей принцип не працює в системі залишкових класів. Але без цього принципу неможливо виконати програмне керування, на якому тримається вся сучасна комп'ютерна техніка.

П'ятий принцип – це принцип *операційності*, тобто можливості з допомогою системи числення виконувати над її числами арифметичні і логічні операції, що важливо для побудови комп'ютерної техніки, де необхідні обчислення даних. Однак в ряді випадків достатньо, щоб система числення могла виконувати операції додавання і віднімання одиниць і порівняння чисел між собою. В цьому випадку всі арифметичні і логічні операції, як показали математичні машини Т'юрінга і Поста, можуть бути виконані з допомогою цих операцій. Це дозволяє значно спростити апаратну реалізацію комп'ютерних пристроїв і підняти їх надійність, але при цьому знижується швидкість виконання операцій.

Шостий принцип – це принцип *ефективності*, який говорить, що будь-яке число в системі числення може бути побудовано за реальний час. Для позиційних систем числення він, як правило, працює, але для непозиційних систем при великій кількості чисел буває так, що його виконати неможливо. Якраз цей недолік непозиційних систем в давні часи і стримував розвиток науки, і тільки з появою позиційної десяткової системи числення вона почала стрімко розвиватися. Без цієї системи сьогоднішня наука була б неможлива. Поява позиційної двійкової системи числення і далі більш складних, таких як фібоначієва, факторіальна і інших показує, що є перспектива подальшого розвитку систем числення уже для вирішення спеціальних задач. Їх кількість дуже велика і з розвитком сучасної науки тільки збільшується.

Зважена Псевдоінверсія з ІнDEFiнітними Вагам

Євген Галба

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
e.f.galba@ukr.net

Наталія Варенюк

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
nvareniuk@ukr.net

Нелля Тукалевська

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
Tukalevska@nas.gov.ua

Weighted Pseudoinversion with Indefinite Weights

Evgen Galba

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
e.f.galba@ukr.net

Nataliia Vareniuk

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
nvareniuk@ukr.net

Nellia Tukalevs'ka

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine
Kyiv, Ukraine
Tukalevska@nas.gov.ua

Анотація— Наведено визначення зваженої псевдооберненої матриці з невірдженими знаковизначеними вагами та проведено її дослідження. Приведено теорему про існування та єдиність зазначеної матриці. Представлено зображення зважених псевдообернених матриць з інDEFiнітними вагами у термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, які симетризуються; отримано розвинення зважених псевдообернених матриць у матричні степеневі ряди і добутки та граничні зображення цих матриць. Побудовано регуляризовані ітераційні методи для їх обчислення.

Abstract—A weighted pseudoinverse matrices with nonsingular 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 з невірдженими інDEFiнітними вагами, матричні степеневі ряди і добутки, граничні представлення зважених псевдообратних матриць, регуляризовані ітераційні методи.

Keywords—waited pseudoinverse matrices with indefinit waigt; matrix power series and products component; limit representations of waited pseudoinverse matrices; style; regularized iterative methods.

I. ВСТУП

Визначення зваженої псевдооберненої матриці із додатно-визначеними вагами вперше було наведено в роботі [1]. В [2] введено поняття косої псевдооберненої матриці. В [3] показано, що множина зважених псевдообернених матриць, визначених у [1], збігається з множиною косих псевдообернених матриць, визначених у [2]. Визначення зваженої псевдооберненої матриці з виродженими вагами з додатно-напіввизначеними ваговими матрицями наведено в [4]. Там же визначено необхідні і достатні умови існування розглянутого варіанту псевдообернених матриць з виродженими вагами. У роботах [5–7] досліджено інші варіанти псевдообернених матриць з виродженими вагами та визначено необхідні та достатні умови їх існування, визначено зважені нормальні псевдорозв'язки з виродженими вагами і встановлено їх зв'язок зі зваженими псевдооберненими матрицями. В [8] введено поняття ML-зваженої псевдооберненої матриці. Відзначимо роботи [9, 10], в яких при побудові ітераційних методів для розв'язання лінійних задач використовується

зважена псевдоінверсія з виродженими вагами, де вагові матриці є діагональними.

У даній роботі визначається і досліджується зважена псевдообернена матриця з невірдженими законевизначеними вагами. Наведено теорему про існування та єдиність запропонованого варіанта зваженої псевдооберненої матриці з невірдженими індефінітними вагами. Отримано представлення зваженої псевдооберненої матриці з індефінітними невірдженими вагами в термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, що симетризуються. Отримано та досліджено розвинення зважених псевдообернених матриць зі змішаними вагами в матричні степеневі ряди і добутки та одержано їх граничні представлення. Побудовано регуляризовані ітераційні методи для обчислення зважених псевдообернених матриць зі змішаними вагами.

II. 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 $(u, v)_H = (Hu, v)_E$, де $(u, v)_E = u^T v$, E – 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.

Відмітимо, що дослідженню n -вимірних векторних просторів із законевизначеною метрикою (із законевизначеним скалярним добутком) приділено значно менше уваги, ніж із додатно-означеною і невід’ємною метрикою. Дослідження цих просторів можна знайти в [11–13], а питання їх застосування розглянуто в [14–16].

Визначимо зважену норму прямокутної матриці із симетричними невірдженими ваговими матрицями. Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $H = H^T \in \square^{m \times m}$ і $V = V^T \in \square^{n \times n}$ – невіржені матриці. Для множини матриць A норму введемо співвідношенням

$$\begin{aligned} \|A\|_{HV} &= \sup_{x \neq 0} \frac{\|AVx\|_{H^2}}{\|x\|_{E_n}} = \sup_{x \neq 0} \frac{\|HAVx\|_{E_m}}{\|x\|_{E_n}} = \\ &= \sup_{x \neq 0} \frac{(VA^T H^2 AVx, x)_{E_m}^{1/2}}{\|x\|_{E_n}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де $x \in \square^n$, а нижній індекс при одиничній матриці означає її розмірність.

Із (1) при $x \neq 0$ маємо $(VA^T H^2 AVx, x)_{E_m} = ((HAV)^T HAVx, x) = \|HAVx\|_{E_m}^2 \geq 0$, звідки випливає невід’ємність власних значень матриці $VA^T H^2 AV$ і тим самим існування невід’ємних квадратних коренів із власних значень цієї матриці. Тоді зважена спектральна норма (1) матриці A 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) впливає виконання першої аксіоми матричних норм (додатність), а при $H = E_m$, $V = E_n$ функція (1) визначає звичайну спектральну норму матриці A .

Лема 1. Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $H = H^T \in \square^{m \times m}$ і $V = V^T \in \square^{n \times n}$ – невіржені матриці. Тоді функція (1) є адитивною (узагальнено) 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 невіржені матриці, тоді справедливі співвідношення $\|AB\|_{HV} \leq \|A\|_{HM} \|B\|_{M^{-1}V}$, $\|AB\|_{HV} \leq \|A\|_{HM^{-1}} \|B\|_{MV}$.

Лема 3. Нехай для квадратних матриць K, L, M виконуються умови $KM = MK$, $LM = ML$. Тоді із рівності $KM^2 = LM^2$ випливає рівність $KM = LM$.

Лема 4. Нехай $A \in \square^{m \times n}$, а $B = B^T \in \square^{m \times m}$ і $C^{-1} = (C^{-1})^T \in \square^{n \times n}$ – невіржені законевизначені матриці і виконується умова $\text{rank}(A^T B A) = \text{rank}(AC^{-1}A^T) = \text{rank}(A)$. Тоді ранги матриць A і $A^T B A C^{-1} A^T$ співпадають.

Лема 5. Для довільних матриць $P \in \square^{n \times n}$, $W \in \square^{n \times m}$ і дійсного числа $-\infty < \delta < \infty$ має місце тотожність

$$\prod_{k=0}^{n-1} (E + \delta^{2^k} (P + \delta E)^{-2^k}) (P + \delta E)^{-1} W =$$

$$= \sum_{k=1}^{2^n} \delta^{k-1} (P + \delta E)^{-k} W, \quad n = 1, 2, \dots \quad (3)$$

Лема 6. Для довільних матриць $L \in \square^{m \times m}$, $M \in \square^{n \times n}$ і дійсного числа $-\infty < \delta < \infty$ має місце тотожність

$$\begin{aligned} M(L + \delta E)^{-1} \prod_{k=0}^{n-1} (E + \delta^{2^k} (L + \delta E)^{-2^k}) &= \\ = M \sum_{k=1}^{2^n} \delta^{k-1} (L + \delta E)^{-k}, \quad n = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Означення 1. Дійсну матрицю U будемо називати такою, що симетризується зліва чи справа, якщо існує така симетрична невідроджена матриця H , що виконуються відповідно рівності $HU = U^T H$, $UH = HU^T$.

Означення 2. Квадратну дійсну матрицю Q будемо називати H -зваженою ортогональною (ортогональною з вагою H), якщо виконується умова $Q^T H Q = E$, де H – симетрична додатно-означена матриця.

Має місце наступна лема.

Лема 7. Матриця U , що симетризується зліва додатно-означеним симетризатором H , може бути зведена до діагональної форми за допомогою H -зваженого ортогонального перетворення, тобто існує така H -зважена ортогональна матриця Q , що $Q^T H U Q = \Lambda$ і матрицю U можна записати у вигляді $U = Q \Lambda Q^T H$, де $\Lambda = \text{diag}(\lambda_i)$, λ_i – власні значення матриці U , а стовпці матриці Q утворюють повну систему власних векторів матриці U .

III. ТЕОРЕМИ ІСНУВАННЯ ТА ЄДИНОСТІ

Нехай $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $X \in \mathbb{R}^{n \times m}$, а $B \in \mathbb{R}^{m \times m}$ й $C \in \mathbb{R}^{n \times n}$ – симетричні законевизначені невідроджені матриці. Зважену псевдообернену матрицю до матриці A визначимо як матрицю, що задовольняє систему матричних рівнянь

$$A X A = A, \quad X A X = X, \quad (B A X)^T = B A X, \quad (C X A)^T = C X A \quad (5)$$

при виконанні умов

$$\text{rank}(A^T B A) = \text{rk}(A), \quad \text{rank}(A C^{-1} A^T) = \text{rank}(A). \quad (6)$$

Далі встановлено існування єдиного розв'язку задачі (5), (6), а також отримано представлення зваженої псевдооберненої матриці з індефінітними вагами в термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, що симетризуються.

Теорема 1. Система матричних рівнянь (5) при виконанні умов (6) має єдиний розв'язок $X = A_{BC}^+$, причому матрицю A_{BC}^+ можна представити у вигляді

$$A_{BC}^+ = C^{-1} S A^T B, \quad (7)$$

де $S = f(A^T B A C^{-1})$ – многочлен від матриці $A^T B A C^{-1}$

вигляду $S = -\alpha_k^{-1} [(A^T B A C^{-1})^{k-1} + \alpha_1 (A^T B A C^{-1})^{k-2} + \dots + \alpha_{k-1} E]$, α_p , $p = 1, \dots, n$ – коефіцієнти характеристичного многочлена $f(\lambda) = \lambda^n + \alpha_1 \lambda^{n-1} + \dots + \alpha_n = \det[\lambda E - A^T B A C^{-1}]$, а α_k – останній, відмінний від нуля коефіцієнт цього многочлена, E – одинична матриця.

З представлення зваженої псевдооберненої матриці з індефінітними вагами за формулою (7) випливає відповідне представлення зваженої псевдооберненої матриці з додатно-означеними вагами, яке отримано в [20], і псевдооберненої матриці Мура-Пенроуза [21]. В [21] описано обчислювальну процедуру, що дозволяє на основі представлення псевдооберненої матриці Мура-Пенроуза в термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів симетричних матриць $A^T A$ обчислювати цю матрицю за прийнятну кількість операцій. Представлення зваженої псевдооберненої матриці з індефінітними вагами (7) у термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, що симетризуються, використовується в наступному пункті при обґрунтуванні розвинення зважених псевдообернених матриць у матричні степеневі ряди й добутки.

IV. РОЗВИНЕННЯ ЗВАЖЕНИХ ПСЕВДООБЕРНЕНИХ МАТРИЦЬ У МАТРИЧНІ СТЕПЕНЕВІ РЯДИ Й ДОБУТКИ

На основі представлення зваженої псевдооберненої матриці зі законевизначеними вагами в термінах коефіцієнтів характеристичних многочленів матриць, що симетризуються, і тверджень лем із п. 2 обґрунтуємо розвинення зважених псевдообернених матриць зі змішаними вагами в матричні степеневі ряди й матричні степеневі добутки, коли обидві вагові матриці симетричні, причому одна з них додатно-означена, а друга – невідроджена законевизначена. Відзначимо, що ці задачі є частинним випадком задачі (5), (6). Тому твердження Теорема 1 для них виконуються. Спочатку розглянемо випадок, коли матриця C – додатно-означена, а B – законевизначена, тобто обґрунтуємо розвинення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (5) при виконанні умови

$$\text{rank}(A^T B A) = \text{rank}(A). \quad (8)$$

Теорема 2. Для довільної матриці $A \neq 0 \in \mathbb{R}^{m \times n}$, симетричної законевизначеної невідродженої матриці $B \in \mathbb{R}^{m \times m}$, симетричної додатно-означеної матриці $C \in \mathbb{R}^{n \times n}$ й дійсного числа δ , що задовольняє умову $0 < |\delta| < \frac{1}{2} \mu(C^{-1} A^T B A)$, мають місце співвідношення

$$A_{BC}^+ = \sum_{k=1}^{\infty} \delta^{k-1} (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-k} C^{-1} A^T B, \quad (9)$$

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,p}^+\|_{C^{1/2}V} \leq |\delta|^p (\mu(C^{-1} A^T B A) - |\delta|)^{-p} \|A_{BC}^+\|_{C^{1/2}V}, \quad (10)$$

де A_{BC}^+ – зважена псевдообернена матриця, що задовольняє умови (5), (8), $V = V^T \in \mathbb{R}^{m \times m}$ – довільна невідроджена матриця, $\mu(L) = \min\{|\lambda| : \lambda \neq 0 \in \sigma(L)\}$, λ_i – власні

значення матриці $C^{-1}A^TBA$,
 $A_{\delta,p}^+ = \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-k} C^{-1}A^TB$, $p = 1, 2, \dots$

При виконанні припущень Теорема 2 у силу (3) і (9) маємо наступний розклад зваженої псевдооберненої матриці зі законевизначеною симетричною невиродженою ваговою матрицею $B \in \square^{m \times m}$ й додатно-означеною матрицею $C \in \square^{n \times n}$ в матричний степеневий добуток

$$A_{BC}^+ = \prod_{k=0}^{\infty} \{ E + \delta^{2^k} (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-(2^k)} \} \times (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-1} C^{-1}A^TB. \quad (11)$$

Позначимо $A_{\delta,n}^+ = \prod_{k=0}^{n-1} \{ E + \delta^{2^k} (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-(2^k)} \} \times (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-1} C^{-1}A^TB$, $n = 1, 2, \dots$

Тоді в силу тотожності (3) і нерівності (10) одержимо

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,n}^+\|_{C^{1/2}V} \leq \delta^{2^n} (\mu(C^{-1}A^TBA) - |\delta|)^{-(2^n)} \|A_{BC}^+\|_{C^{1/2}V}. \quad (12)$$

З оцінки (10) випливає, що для $\forall p = 1, 2, \dots$ маємо граничне представлення зваженої псевдооберненої матриці

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-k} C^{-1}A^TB, \quad (13)$$

а з оцінки (12) для $\forall n = 1, 2, \dots$ маємо

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} \prod_{k=0}^{n-1} \{ E + \delta^{2^k} (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-(2^k)} \} \times (C^{-1}A^TBA + \delta E)^{-1} C^{-1}A^TB. \quad (14)$$

Слід відмітити, що на основі зваженого сингулярного розвинення матриць [22] з додатно-означеними вагами в [17] отримано розвинення зважених псевдообернених матриць у матричні степеневі ряди й добутки з додатно-означеними вагами, а на основі зваженого сингулярного розвинення матриць із виродженими вагами в [23, 24] отримано розвинення зважених псевдообернених матриць у матричні степеневі ряди й добутки з виродженими вагами.

Тепер розглянемо випадок, коли матриця B – додатно-означена, а C – невироджена законевизначена, тобто обґрунтуємо розвинення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (5) при виконанні умови

$$\text{rank}(AC^{-1}A^T) = \text{rank}(A). \quad (15)$$

Теорема 3. Для довільної матриці $A \neq 0 \in \square^{m \times n}$, симетричної додатно-означеної матриці $B \in \square^{m \times m}$, симетричної законевизначеної невиродженої матриці $C \in \square^{n \times n}$ й дійсного числа δ , що задовольняє умову $0 < |\delta| < \frac{1}{2} \mu(AC^{-1}A^TB)$, мають місце співвідношення

$$A_{BC}^+ = \sum_{k=1}^{\infty} \delta^{k-1} C^{-1}A^TB(AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-k}, \quad (16)$$

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,p}^+\|_{HB^{-1/2}} \leq |\delta|^p (\mu(AC^{-1}A^TB) - |\delta|)^{-p} \|A_{BC}^+\|_{HB^{-1/2}}, \quad (17)$$

де A_{BC}^+ – зважена псевдообернена матриця, що задовольняє умови (5), (15), $\mu(L)$ визначено в Теоремі 2,

$A_{\delta,p}^+ = \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} C^{-1}A^TB(AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-k}$, $p = 1, 2, \dots$, λ_i – власні значення матриці $AC^{-1}A^TB$, $H = H^T \in \square^{n \times n}$ – будь-яка невироджена матриця.

При виконанні припущень Теорема 3 у силу (4) і (16) маємо наступне розвинення зваженої псевдооберненої матриці з додатно-означеною симетричною ваговою матрицею $B \in \square^{m \times m}$ й законевизначеною симетричною невиродженою ваговою матрицею $C \in \square^{n \times n}$ в матричний степеневий добуток

$$A_{BC}^+ = C^{-1}A^TB(AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-1} \times \prod_{k=0}^{\infty} \{ E + \delta^{2^k} (AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-(2^k)} \}. \quad (18)$$

Позначимо $A_{\delta,n}^+ = C^{-1}A^TB(AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-1} \times \prod_{k=0}^{n-1} \{ E + \delta^{2^k} (AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-(2^k)} \}$, $n = 1, 2, \dots$ Тоді в силу (4) і співвідношення (17) одержимо

$$\|A_{BC}^+ - A_{\delta,n}^+\|_{HB^{-1/2}} \leq \delta^{2^n} (\mu(AC^{-1}A^TB) + \delta)^{-(2^n)} \|A_{BC}^+\|_{HB^{-1/2}}. \quad (19)$$

З оцінки (17) випливає, що для $\forall p = 1, 2, \dots$ маємо наступне граничне представлення зваженої псевдооберненої матриці

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} C^{-1}A^TB \sum_{k=1}^p \delta^{k-1} (AC^{-1}A^TB + \delta E)^{-k}, \quad (20)$$

а з оцінки (19) для $\forall n = 1, 2, \dots$ маємо

$$A_{BC}^+ = \lim_{\delta \rightarrow 0} C^{-1} A^T B (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-1} \times \prod_{k=0}^{n-1} \{ E + \delta^{2^k} (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-(2^k)} \}. \quad (21)$$

Із граничних представлень (13), (14), (20), (21) і зважених псевдообернених матриць випливає, що при досить малому параметрі δ матриці A_{BC}^+ , $A_{\delta,p}^+$ й $A_{\delta,n}^+$ можуть як завгодно мало відрізнятися одна від одної. На основі запропонованих граничних представлень можна обчислювати наближення до зважених псевдообернених матриць. Оцінки близькості зважених псевдообернених матриць і їх наближених значень записуються за формулами (10), (12), (17), (19).

V. ПОБУДОВА ІТЕРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ЗВАЖЕНИХ ПСЕВДООБЕРНЕНИХ МАТРИЦЬ

Опишемо методику побудови регуляризованих ітераційних процесів для обчислення зважених псевдообернених матриць, що базується на розвиненні зважених псевдообернених матриць у матричні степеневі ряди й добутки, отриманих у п. 4.

Спочатку побудуємо ітераційний процес для обчислення зваженої псевдооберненої матриці зі змішаними вагами, коли матриця C – додатно-означена, а B – знаконевизначена, тобто ітераційний процес для обчислення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (5) при виконанні умови (8).

Розглянемо розвинення (9) зважених псевдообернених матриць у матричний степеневий ряд. Покладемо $X_k = \sum_{i=1}^k \delta^{i-1} (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-i} C^{-1} A^T B$.

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$\begin{aligned} X_0 &= 0, \quad X_k = \delta (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-1} X_{k-1} + \\ &+ (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-1} C^{-1} A^T B = \\ &= (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-1} (\delta X_{k-1} + C^{-1} A^T B), \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (22)$$

Оцінка близькості k -го наближення до A_{BC}^+ за формулами (22) визначається за формулою (10), де слід покласти $p = k$.

Використаємо розвинення (11) зваженої псевдооберненої матриці в матричний степеневий добуток, на основі якого покладемо

$$X_k = \prod_{i=0}^{k-1} \{ E + \delta^{2^i} (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-(2^i)} \} \times (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-1} C^{-1} A^T B.$$

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$\begin{aligned} X_0 &= (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-1} C^{-1} A^T B, \\ X_k &= \{ E + \delta^{2^{k-1}} (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-(2^{k-1})} \} X_{k-1} = \\ &= X_{k-1} + \delta^{2^{k-1}} (C^{-1} A^T B A + \delta E)^{-(2^{k-1})} X_{k-1}, \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (23)$$

Оцінка близькості k -го наближення за формулами (23) до A_{BC}^+ визначається за формулою (12), де слід покласти $n = k$.

Тепер побудуємо ітераційний процес для обчислення зваженої псевдооберненої матриці зі змішаними вагами, коли матриця B – додатно-означена, а C – знаконевизначена, тобто ітераційний процес для обчислення зважених псевдообернених матриць, що задовольняють систему матричних рівнянь (5) при виконанні умови (15).

Розглянемо розвинення (16) зважених псевдообернених матриць у матричний степеневий ряд. Покладемо

$$X_k = C^{-1} A^T B \sum_{i=1}^k \delta^{i-1} (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-i}.$$

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$\begin{aligned} X_0 &= 0, \quad X_k = \delta X_{k-1} (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-1} + \\ &+ C^{-1} A^T B (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-1} = \\ &= (\delta X_{k-1} + C^{-1} A^T B) (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-1}, \quad k = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (24)$$

Оцінка близькості k -го наближення за формулами (24) до A_{BC}^+ визначається за формулою (17), де слід покласти $p = k$.

Використовуємо розвинення (18) зваженої псевдооберненої матриці в матричний степеневий добуток, на основі якого покладемо

$$X_k = C^{-1} A^T B (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-1} \times \prod_{i=0}^{k-1} \{ E + \delta^{2^i} (AC^{-1} A^T B + \delta E)^{-(2^i)} \}.$$

Тоді для обчислення A_{BC}^+ одержимо регуляризований ітераційний процес

$$X_0 = C^{-1}A^T B(AC^{-1}A^T B + \delta E)^{-1},$$

$$X_k = X_{k-1} \{ E + \delta^{2^{k-1}} (AC^{-1}A^T B + \delta E)^{-(2^{k-1})} \} =$$

$$= X_{k-1} + \delta^{2^k} X_{k-1} (AC^{-1}A^T B + \delta E)^{-(2^{k-1})}, \quad k = 1, 2, \dots$$

(25)

Оцінка близькості k -го наближення за формулами (25)

до A_{BC}^+ визначається за формулою (19), де слід прийняти $n = k$.

VI. ВИСНОВКИ

Таким чином, 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 $C^{-1}A^T B A + \delta E$ і $AC^{-1}A^T B + \delta E$. Щоб отримати необхідну точність наближеного розв'язку потрібно вирішити питання узгодження параметра δ із кількістю ітерацій. 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. Останнє особливо важливе, оскільки обчислення псевдообернених матриць належить до класу некоректних задач (немає неперервної залежності розв'язку задачі від зміни вихідних даних). У [17, 23, 25, 26, 27] побудовано й досліджено регуляризовані ітераційні процеси для обчислення зважених псевдообернених матриць із додатно-напіввизначеними ваговими матрицями, що базується на розвиненні цих матриць у матричні степеневі ряди й добутки.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Chipman J.S. On least squares with insufficient observation. J. Amer. Statist. Assoc. 1964. Vol. 59, N 308, P. 1078 – 1111.
- [2] Milne R.D. An oblique matrix pseudoinverse. SIAM J. Appl. Math. 1968. Vol. 16, N 5, P. 931 – 944.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] Сергиенко І.В., Галба Е.Ф., Дейнека В.С. Существование и единственность взвешенных псевдообратных матриц и взвешенных нормальных псевдорешений с вырожденными весами. Укр. мат. журн. 2011. Т. 63, № 1. С. 80 – 101.
- [7] Сергиенко І.В., Галба Е.Ф., Дейнека В.С. Теоремы существования и единственности в теории взвешенной псевдоинверсии с вырожденными весами. Кибернетика и системный анализ. 2011. Т. 47, № 1. С. 14 – 33.
- [8] Mitra S.K., Rao C.R. Projections under seminorms and generalized Moore-Penrose inverses. Linear Algebra and Appl. 1974. N 9. P. 155 – 167.
- [9] Censor Y., Elfving T. Block-iterative algorithms with diagonally scaled oblique projections for the linear feasibility problem. SIAM J. Matrix. Anal. 2002. Vol. 24, N 1. P. 40 – 58.
- [10] Censor Y., Elfving T. Iterative algorithms with seminorm-induced oblique projections. Abstr. Appl. Anal. 2003. N 7. P. 387 – 406.
- [11] Понтрягин Л.С. Эрмитовы операторы в пространстве с индефинитной метрикой. Известия АН СССР, сер. матем. 8. 1944. С. 243 – 280.
- [12] Мальцев А.И. Основы линейной алгебры. М.-Л.: Гостехиздат, 1948. 423 с.
- [13] Gohberg I., Lancaster P., Rodman L. Matrices and indefinite scalar products. – Basel, Boston, Stuttgart: Birkhauser, 1983.
- [14] Gohberg I., Lancaster P., Rodman L. Indefinite linear algebra and applications – Basel, Boston, Berlin: Birkhauser, 2005. 357 p.
- [15] Икрамов Х.Д. Теорема о диагонализации одного типа гамильтонианов с точки зрения теории операторов в пространствах с индефинитной метрикой. Журн. вычислит. математики и мат. физики. 1989. Т. 29, № 1. С. 3 – 14.
- [16] Икрамов Х.Д. О связи между биортогональным алгоритмом и методом Ланцоша в пространстве с незаданной метрикой. Вестн. МГУ. Сер. 15. Вычисл. матем. и кибернетика. 1991. № 3. С. 19 – 23.
- [17] 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.
- [18] Икрамов Х.Д. Об алгебраических свойствах классов псевдоперестановочных и Н-самосопряженных матриц. Журн. вычислит. математики и мат. физики. 1992. Т. 32, № 8. С. 155 – 169.
- [19] Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. Москва: Наука, 1967. 576 с.
- [20] Молчанов И.Н., Галба Е.Ф. Взвешенное псевдообращение комплексных матриц. Укр. мат. журн. 1983. Т. 35, № 1. С. 53 – 57.
- [21] Decell H.P. An application of the Cayley-Hamilton theorem to generalized matrix inversion. SIAM Rev. 1965. Vol. 7, N 4. P. 526–528.
- [22] Галба Е.Ф. Взвешенное сингулярное разложение и взвешенное псевдообращение матриц. Укр. матем. журн. 1996. Т. 48, № 10. С. 1426 – 1430.
- [23] Галба Е.Ф., Дейнека В.С., Сергиенко І.В. Необходимые и достаточные условия существования одного из вариантов взвешенного сингулярного разложения матриц с вырожденными весами. Докл. РАН. 2014. Т. 455, № 3. С. 261 – 264.
- [24] 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.
- [25] Галба Е.Ф., Дейнека В.С., Сергиенко І.В. Взвешенное сингулярное разложение и взвешенное псевдообращение матриц с вырожденными весами. Журн. вычисл. математики и мат. физики. 2012. Т. 52, № 12. С. 2115 – 2132.
- [26] 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.
- [27] 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.

Image Phase Characteristics at the Output of Gabor Filters

Olena Osharovska

Department of Television and Sound Broadcasting
Odessa National Academy of Telecommunications
Odessa, Ukraine
osharovskaya@gmail.com

Oleksandr Vuznyk

Department of Television and Sound Broadcasting
Odessa National Academy of Telecommunications
Odessa, Ukraine
sm.vuznyk@gmail.com

Фазові Характеристики Зображення на Виході Фільтрів Габора

Олена Ошаровська

кафедра телебачення та радіомовлення
Одеська національна академія зв'язку
Одеса, Україна
osharovskaya@gmail.com

Олександр Визнюк

кафедра телебачення та радіомовлення
Одеська національна академія зв'язку
Одеса, Україна
sm.vuznyk@gmail.com

Abstract— The paper presents the results of a study on the allocation of features of individual objects in a matrix image. The image was passed through a set of Gabor filters with a change in both the rotation angle and spatial frequencies determined by the frequency of the complex sinusoidal carrier. The spatial frequency varied from two image elements to eight image elements. The study of the phase characteristics of the image was carried out in the Matlab environment. The initial grayscale source image was processed by a Gabor filter, in which the spatial frequency was changed from the highest, corresponding to two image elements, to a lower frequency, corresponding to eight image elements. From the two-dimensional Fourier transform, the amplitude-frequency characteristic of the image at different spatial frequencies is obtained, as well as the phase-frequency characteristic. For high spatial frequencies, too many contours are obtained for the phase characteristic, which makes it difficult to isolate features, and for medium spatial frequencies, the phase frequency characteristic is more informative in terms of distinguishing the contours of objects at different locations and rotations. Thus, according to the phase-frequency characteristic of the image, it becomes possible to type a feature vector with different orientations of the object, which makes it possible to classify the textures that form the image.

Анотація— У роботі наведені результати дослідження по виділенню ознак окремих об'єктів в матричному зображенні. Зображення пропускалися через набір фільтрів Габора зі зміною як кута повороту, так і просторових частот, що визначаються частотою комплексної синусоїдальної несучої. Просторова частота змінювалася від двох елементів зображення до восьми елементів зображення. Дослідження фазових характеристик зображення проведено в середовищі Матлаб. Початкове півтонове вихідне зображення було піддано обробці фільтром Габора, в якому змінювалася просторова частота від найвищої, відповідної двом елементам

зображення до більш низької частоти, що відповідає восьми елементів зображення. З двовимірного перетворення Фур'є отримано амплітудно-частотну характеристику зображення при різних просторових частотах, а також фазо-частотну характеристику. Для високих просторових частот виходить занадто багато контурів фазової характеристики, що ускладнює виділення ознак, а для середніх просторових частот фазова частотна характеристика більш інформативна з точки зору виділення контурів об'єктів при різних розміщеннях і поворотах. Таким чином, по фазо-частотній характеристиці зображення з'являється можливість набрати вектор ознак при різній орієнтації об'єкта, що дозволяє даоєє класифікувати текстури, що формують зображення.

Keywords— *image, Gabor filter, spatial frequency, phase response, texture*

Ключові слова— *кольорово зображення, фільтр Габора, просторова частота, фазова характеристика, текстура*

I. INTRODUCTION

When processing images very often there is a need to select one of the objects and carry out its recognition [1]. This operation is preceded by pre-processing, which consists in filtering, anti-noise correction, emphasizing boundaries, color correction gamma correction. Most of these operations today have several implementations [2, 3]. However, the identification of the objects themselves is associated with a sufficiently large amount of computing resources and takes time for statistical processing. Complicating this identification procedure is changing the size and location of objects. Studies of the optimality of object identification methods come down to the creation of a feature vector. Such signs include the shape

of the object, borders, color, characteristic points, the area of the object and other statistical moments calculated by the primary signs [4]. Image processing to highlight features of an object can be carried out directly above the matrix image, or its gradation equivalent, as well as for each of the component color signals. In this case, the object itself is most often selected using the Sobel operator. This method is very sensitive to image contrast. Respectively, its reliability is low. In this work, we study the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the test image obtained for different spatial frequencies at the output of the Gabor filter.

II. THE TWO-DIMENSIONAL GABOR TRANSFORM

Results that are more interesting were obtained when objects were selected in the spectral region. Fourier transform or, more recently, a discrete wavelet transform are used as spectral transformations [5, 6]. The two-dimensional Gabor function $g(x, y)$ can be represented as a complex sinusoidal function $s(x, y)$ multiplied by the envelope of Gauss $w_r(x, y)$ (1).

$$g(x, y) = s(x, y) w_r(x, y). \quad (1)$$

Complex sinusoidal carrier is represented as (2)

$$s(x, y) = \exp [j (2\pi (\omega_0 x + \nu_0 y) + P)], \quad (2)$$

where $(\omega_0$ and $\nu_0)$ are the spatial frequencies of the sinusoidal carrier and can be matched with the number of pixels per period, and P is the phase of the carrier. Gaussian envelope represented by function (3)

$$w_r(x, y) = K \exp [-\pi (a^2 (x-x_0)^2 + b^2 (y-y_0)^2)], \quad (3)$$

where (x, y) is the coordinate of the displacement of the Gaussian curve from the central peak located at the point (x_0, y_0) (4, 5)

$$(x - x_0)_r = (x - x_0) \cos \theta + (y - y_0) \sin \theta \quad (4)$$

$$(y - y_0)_r = -(x - x_0) \sin \theta + (y - y_0) \cos \theta \quad (5)$$

III. EXPERIMENT RESULTS

The study of the phase characteristics of the image was carried out in the Matlab environment [7]. Fig. 1 shows the grayscale source image. It contains textures of water, sunbeam, grass and others. The image was processed by the Gabor filter, in which the spatial frequency was changed from the highest to a lower frequency corresponding to eight pixels.



Fig. 1. The Halftone Test Image

The output signal of the Gabor filter is subjected to Fourier conversion. For a spatial frequency of two image elements, the phase characteristic is shown in Fig. 2

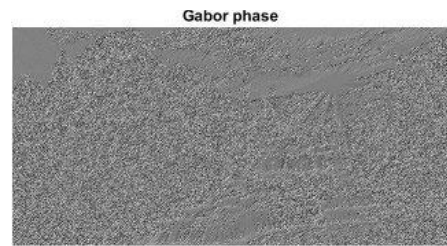


Fig. 2. The phase response for spatial frequency in two image elements

If we reduce the spatial frequency of the sinusoidal carrier so that its resolution corresponds to a frequency of eight pixels (Fig. 3), then you can see the appearance of the contours of sun rays.

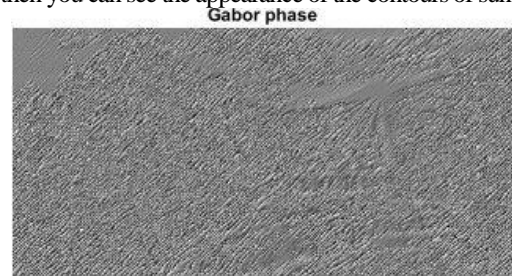


Fig. 3. The phase response for a spatial frequency of eight pixels

If we reduce the spatial frequency of the sinusoidal carrier so that its resolution corresponds to a frequency of eight pixels, then you can see the appearance of the contours of sunrays.

REFERENCES ЛІТЕРАТУРА

- [1]. Challa S. Sastry, M., Ravindranath, Arum, K. Pujari, B. I. Deekshatula, "A modified Gabor function for content based image retrieval", in Pattern Recognition Letters, vol. 28, pp. 293-300, Jun 2017.
- [2]. Anil K. Jain, Nalini K. Ratha, Sridhar Lakshmanan "Object detection using Gabor filters", in Pattern Recognition 30(2) p:295-309, February 1997, DOI: 10.1016/S0031-3203(96)00068-4
- [3]. Jain, A.K., Farrokhnia, F. "Unsupervised texture segmentation using Gabor filters." In PR 24(12), P.-1186, 1991
- [4]. Jain, A.K., Farrokhnia, F. "Unsupervised texture segmentation using Gabor filters." In PR 24(12), P.-1186, 1991
- [5]. Lo, E.H., Pickering, M.R., Frater, M.R., Arnold, J.F. "Image segmentation from scale and rotation invariant texture features from the double dyadic dual-tree complex wavelet transform." In IVC 29(1), P.15-28, 2011.
- [6]. Brox, T., Rousson, M., Deriche, R., Weickert, J. "Colour, texture, and motion in level set based segmentation and tracking." in IVC 28(3), P.376-390, 2010.
- [7]. O.V. Osharovska, A.V. Tabarnyi. "Gabor filters for threshold selection of objects." in Processing of Information in Information Systems, 2019, Chernivtsi, Ukraine Chernivtsi "Misto", p. 45. 2019.

Ітеративне Декодування Стирань в Циклічних Кодах

Василь Семеренко, Олександр Войналович
кафедра обчислювальної техніки,
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
vpsemerenko@ukr.net, sashavoinalovich@gmail.com

Iterative Decoding the Erasures in Cyclic Codes

Vasyl Semerenko, Oleksandr Voinalovich
Department of Computer Technique
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine,
vpsemerenko@ukr.net, sashavoinalovich@gmail.com

Анотація—Розглядається декодування стирань в системах зв'язку на основі теорії лінійних послідовнісних схем (ЛПС). Пропонується метод ітеративного декодування циклічних кодів з використанням циклічних перестановок.

Abstract—The decoding the erasures in transmission systems based on the theory of linear finite-state machine (LFSM) is considered. The method of iterative decoding of the cyclic codes with the help of cyclic permutation is suggested.

Ключові слова—циклічні коди; лінійна послідовнісна схема; ітеративне декодування; стирання

Keywords—cyclic codes; linear finite-state machine (LFSM); iterative decoding; erasure errors

I. ВСТУП

Однією з ключових проблем в теорії завадостійкого кодування є відповідність кодів характеристикам каналів передачі даних.

Відомі завадостійкі коди орієнтовані на наперед визначені особливості функціонування систем зв'язку. Математична структура коду жорстко визначає алгоритм пошуку помилок і він не може бути змінений, інакше це буде вже інший код.

З іншого боку, реальні канали зв'язку функціонують в динамічному режимі і їх характеристики постійно змінюються. Для підстроювання параметрів каналу структурі коду найчастіше використовують операцію перемежування, яка полягає в зміні початкового порядку надходження символів в канал. Існують багато способів перемежування, однак практично всі вони використовують лише один помилку (інверсні помилки) і один тип перемежування (перетворення пакетів помилок у випадкові поодинокі помилки) [1].

Але на практиці можуть бути не лише заміна 0 на 1 чи навпаки, але і стирання окремих символів, що характерно, наприклад, для мобільного зв'язку [2].

В теорії завадостійкого кодування склалось невірне представлення щодо трудомісткості операції декодування: вважається, що пакети помилок завжди важче виявити, аніж окремі помилки в інтервалі кодового слова. В деяких випадках ця теза дійсно справедлива, коли довгі пакети інверсних помилок замінюють на поодинокі помилки у послідовності кодових слів. При цьому припускають, що сусідні кодові слова мають бути безпомилковими, не повинні одночасно зустрічатись різні типи помилок і т.д.

В результаті традиційні способи перемежування можуть ще більше ускладнити пошук помилок. Тому актуальним є розробка методів попередньої обробки даних з мінімальними обмеженнями на тип і конфігурацію помилок та параметри каналу зв'язку.

Мета цієї роботи – розробка ефективних алгоритмів декодування стирань та інверсних помилок на основі математичного апарату лінійних послідовнісних схем [3].

II. АЛГОРИТМ ІТЕРАТИВНОГО ДЕКОДУВАННЯ СТИРАНЬ

Лінійна послідовнісна схема (ЛПС) – це лінійний автомат над заданим полем Галуа, який в дискретні моменти часу t задається функцією переходів

$$S(t+1) = A \times S(t) + B \times U(t), \quad (1)$$

та функцією виходів

$$Y(t) = C \times S(t) + D \times U(t), \quad (2)$$

де A, B, C, D – характеристичні матриці ЛПС, S, U, Y – слова стану, вхідне, вихідне.

Зазвичай елементи матриць приймають значення з множини $M = \{0, 1\}$.

При наявності стирань в розрядах кодового слова Z_{err} циклічного (n, k) -коду елементи слів S приймають свої значення із множини $M_x = \{0, 1, x, \bar{x}\}$. Це вимагає переходу від поля Галуа $GF(2)$ до комутативного кільця R з відповідними операціями додавання і множення.

Введемо поняття перевіряльного вікна X як безперервної циклічної послідовності r розрядів n -розрядного слова Z_{err} ($r = n - k$). Таке вікно X можна циклічно пересувати вздовж всього слова Z_{err} .

Якщо всі інверсні помилки та стирання розосереджені вздовж всього слова Z_{err} циклічного (n, k) -коду, тоді для їх виправлення потрібно багато часу та ресурсів. А при пошкодженні розрядів слова Z_{err} лише в межах зазначеного вікна X , тоді такі розряди швидко і легко виправляються.

Таким чином, задача полягає у переміщенні всіх стертих розрядів кодового слова Z_{err} у вікно X . Іншими словами, необхідно якомога тісніше згрупувати помилкові розряди у пакет помилок довжиною не більше r . В [4] схожа задача була розв'язана для інверсних помилок з використанням методу циклічних перестановок.

Розглянемо особливості розв'язання цієї задачі для помилок типу стирань. Узагальнений алгоритм ітеративного автоматного декодування стирань в циклічних кодах такий.

Для заданого кодового слова Z_{err} обчислити синдром стирань $S_{err}(n)$ на основі функції (1) згідно [5].

Якщо всі стерті розряди попадають у вікно X , то перейти до п. 4.

Виконати циклічну перестановку розрядів слова Z_{err} згідно [4] і перейти до п.1.

Перейти до слова Z_o , в якому всі розряди вікна X помічені, як стерті та замінені нулями.

Відновити стерті розряди у слові Z_o .

Виконати обернені перетворення і отримати кодове слово Z без помилок.

На рис.1 показаний початковий процес декодування стирань в циклічному $(15,11)$ -коді. Лише після двох циклічних перестановок кодового слова два його стертих розряди попадають у 4-розрядне вікно X . Далі всі розряди вікна X позначається як стерті, замінюються нулями і декодуються.

III. ВИСНОВКИ

Основною тенденцією сучасного розвитку в завадостійких кодах є використання ітеративного (багатокрокового) декодування. Пропонується метод ітеративного перемежування циклічних кодів, який підвищує ефективність декодування пакетів стирань.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Мелентьев О. Г. Теоретические аспекты передачи данных по каналам с группирующимися ошибками / О. Г. Мелентьев. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 232 с.
- [2]. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : пер. с англ. / 2-е изд., перераб. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 1104 с.
- [3]. Гилл А, Линейные последовательностные машины. М.: Наука, 1974, с. 288.
- [4]. Semerenko V. P. Iterative hard-decision decoding of combined cyclic codes, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1, issue 9 (91). P. 61–72.
- [5]. Семеренко В. П, Теорія циклічних кодів на основі автоматних моделей : монографія. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 444 с.

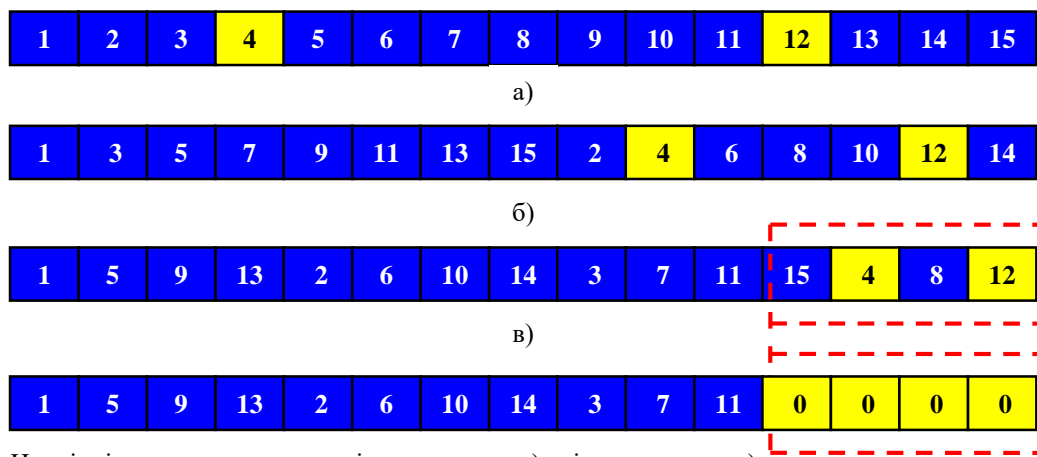


Рис. 1. – Циклічні перестановки розрядів кодового слова (а) зі стираннями: а) – початкове слово, б) – перша перестановка, в) – друга перестановка, г) – суцільний пакет стирань (вікно X). Стерті розряди показані світлим (жовтим) кольором.

Метод Шифрування на Основі Перетворення Уолша

Володимир Лужецький
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
lva.zi2002@gmail.com

Анатолій Білецький
кафедра електроніки, робототехніки і технологій
моніторингу та інтернету речей
Національний авіаційний університет
Київ, Україна

Encryption Method Based on the Walsh Transformation

Volodymyr Luzhetskyi
department of Information Security
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
lva.zi2002@gmail.com

Anatoly Biletsky
department of Electronics, Robotics,
Monitoring and IoT Technologies
National Aviation University
Kiev, Ukraine

Анотація — Запропоновано метод шифрування, який відрізняється від відомих тим, що використовуються перестановки байтів усього файлу, а підстановки реалізуються шляхом виконання перетворень Уолша змінної розмірності для даних змінної розрядності. Все це забезпечує підвищення швидкості шифрування в понад 3 рази порівняно з найпоширенішим шифром AES.

Abstract — An encryption method is proposed, which differs from the known ones in that byte permutations of the entire file are used, and substitutions are implemented by performing Walsh transformations of variable dimension for variable bit data. All this provides an increase in encryption speed by more than 3 times compared to the most common AES cipher.

Ключові слова — шифр; перестановки; підстановки; перетворення Уолша.

Keywords — cipher; permutations; substitutions; Walsh transformation.

I. ВСТУП

Одним із основних методів криптографічного захисту інформації є шифрування. В роботі [1] К. Шеннон показав, що будь-який шифр можна представити у вигляді комбінації двох основних операцій – перестановки та підстановки. Заміна здійснюється шляхом перетворення символів відкритого тексту в символи того ж алфавіту зашифрованого тексту або з використанням таблиць підстановок, або за допомогою певних обчислень [2]. У потокових шифрах використовується лише операція підстановки шляхом накладання гами на відкрите повідомлення. Блокове шифрування передбачає

послідовне виконання обох операцій. Варто відзначити, що питанням реалізації операцій підстановки приділено значно більше уваги ніж реалізації операцій перестановок.

Сучасні блокові шифри, побудовані на основі мереж Фейстеля, SP-мереж і перетворень типу "квадрат", передбачають здійснення перестановки частин окремого блоку або перестановки блоків в межах невеликої групи. Відомо, що чим більше елементів підлягають перестановці, тим більше існує можливих варіантів перестановок. З цього випливає, що в сучасних блокових шифрах неповною мірою використовуються можливості операції перестановки для забезпечення стійкості шифру. Крім того, сучасні блокові шифри передбачають виконання від 8 до 32 і більше раундів перетворень, щоб забезпечити залежність кожного біта зашифрованого блоку даних від усіх бітів відкритого блоку даних. Це певною мірою обмежує швидкість шифрування.

Метою дослідження, результати якого розглядаються в доповіді, є пришвидшення процесу шифрування із забезпеченням потрібного рівня криптографічної стійкості.

II. МЕТОД ШИФРУВАННЯ

Оскільки найчастіше відкриті дані, що підлягають зашифруванню, і результат зашифрування подаються в вигляді файлу, то автори пропонують схему процесу зашифрування, яку наведено на рис.1.



Рис.1. Схема процесу зашифрування

Процедури зчитування і записування з використанням правил перестановки реалізують запропоновані в роботах [3,4] методи формування правил перестановок, які дозволяють здійснювати псевдовипадкову (залежну від секретного ключа) перестановку байтів у межах усього повідомлення довільної довжини. Процедура підстановки реалізується як швидкі перетворення Уолша змінної розмірності для даних змінної розрядності, особливості яких описано в роботі [5].

Розмірність перетворень N і розрядність даних n для кожного блоку даних залежать від значення секретного ключа K і, як наслідок, довжина блоку $L = N \cdot n$ є також змінною. Усі обчислення виконуються за модулем 2^n .

Авторами пропонуються такі варіанти розрядності даних: 8, 16, 32, 64, і розмірності перетворень: 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024. Отже, довжина блоку даних змінюється від 64 до 65536 біт.

Оскільки кожна складова результату перетворення Уолша залежить від усіх бітів перетворюваних даних, то достатньо одного раунду перетворення.

III. Оцінки швидкості шифрування

У разі рівномірного розподілу значень розрядності даних математичне сподівання кількості байтів – 3,75, а розрядності даних – 30.

Зчитування і записування за правилом перестановок потребує виконання 8 операцій для одного байту і 30 операцій для одиниці даних, що підлягають швидкому перетворенню Уолша.

Кількість операцій для реалізації швидкого перетворення Уолша визначається за формулою:

$$S_t = N \cdot \log_2 N.$$

Математичне сподівання розрядності блоку $L_m = 30N$. Дані для отримання оцінок середньої швидкості шифрування наведено в табл. 1.

ТАБЛИЦЯ 1. - ОЦІНКИ СЕРЕДНЬОЇ ШВИДКОСТІ ШИФРУВАННЯ V (оп./біт)

N	S_t	S_{ts}	S_m	L_m	V
8	24	240	264	240	1,10
16	64	480	544	480	1,13
32	160	960	1120	960	1,16
64	384	1920	2304	1920	1,20
128	896	3840	4736	3840	1,23
256	2048	7680	9728	7680	1,27
512	4608	15360	19968	15360	1,3
1024	10240	30720	40960	30720	1,33

Тут: S_{ts} – математичне сподівання кількості операцій для зчитування байтів, що складають дані для перетворення, і записування байтів результату перетворення; S_m – сумарна кількість операцій.

Середня швидкість шифрування складає 1,21 операції на біт. Для порівняння, в шифрі AES виконується 3,7 – 4 операції на 1 біт (залежно від розрядності ключа) [6], а в шифрі Serpent – 4,1 операції [7].

IV. ВИСНОВКИ

Запропонований метод шифрування відрізняється від відомих тим, що використовуються перестановки байтів усього файлу, а підстановки реалізуються шляхом виконання перетворень Уолша змінної розмірності для даних змінної розрядності. Все це забезпечує підвищення швидкості шифрування в понад 3 рази порівняно з найпоширенішим шифром AES.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд. иностр. лит., 1963. – 830 с.
- [2] Шнайер Б. Прикладная криптография. – М.: Триумф, 2002 – 816 с.
- [3] Лужецький В.А., Горбенко І.С. Метод формування перестановок довільної кількості елементів. // Захист інформації. – 2013. – №3 – С. 262-267.
- [4] Лужецький В.А., Горбенко І.С. Методи шифрування на основі перестановки блоків змінної довжини // Захист інформації. – 2015. – №2 – С.169-175.
- [5] Белецкий, А. Я. Индикаторные матрицы систем функций Уолша. // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки, № 4, 2009. – С. 85-93.
- [6] Баричев С. Г., Гончаров В. В. Стандарт AES. Алгоритм Rijndael. – М.: Горячая линия — Телеком, 2002 — с. 30-35.
- [7] Винокуров А. Serpent. Основные параметры – М. : Монитор, 1999 – 21 с.

СЕКЦІЯ 4.

**Глибинний аналіз та організація даних,
технології великих даних,
системи штучного інтелекту,
«розумні» аплікації**

SECTION 4.

**Deep analysis and data organization,
big data technologies,
artificial intelligence systems,
smart applications**

Цифрова Обробка Інформації на Основі Дискретного Трійкового Симетричного Вейвлет-Перетворення

Артем Ізмайлов

кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет
Івано-Франківськ, Україна
artem.v.izmailov@gmail.com

Digital Information Processing Based on the Discrete Symmetric Ternary Wavelet Transform

Artem Izmailov

dept. of Computer Science and Information Systems
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
artem.v.izmailov@gmail.com

Анотація—Здійснено оцінку ефективності застосування дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення для ущільнення даних. На основі критерію мінімуму ентропії деталізуючих коефіцієнтів дискретного вейвлет-перетворення та тестової послідовності Matlab leleccum доведена перевага запропонованого перетворення у порівнянні з існуючими.

Abstract—Application efficiency of the discrete symmetric ternary wavelet transform for data compaction is estimated. The advantage of the proposed transform over the existing ones is proved based on the criterion of entropy minimum of the detail coefficients of the discrete wavelet transform and the Matlab leleccum test sequence.

Ключові слова—цифрова обробка інформації; дискретне вейвлет-перетворення; трійкові симетричні функції

Keywords—digital information processing; discrete wavelet transform; symmetric ternary functions

I. ВСТУП

Розвиток різних галузей виробництва спричинив появу нових задач, для розв'язання яких застосовують комп'ютеризовані виробничі системи. Їх функціонування пов'язане з обробкою цифрових даних, яка забезпечена застосуванням методів та засобів цифрової обробки інформації (ЦОІ), зокрема, дискретних вейвлет-перетворень (ДВП) [1–4].

Актуальним завданням ЦОІ є ущільнення даних для зменшення обсягу пам'яті необхідного для їх зберігання, особливо, у випадку виробничого обладнання, яке за характеристиками близьке до мобільних пристроїв [1, 3]. При розв'язанні цього завдання за допомогою ДВП зберігають не самі дані, а коефіцієнти перетворення, частина з яких рівні нулю або близькі до нуля. Такі коефіцієнти відкидають, а при відновленні даних – замінюють нулями [1–4].

Аналіз останніх досліджень вказує на те, що ДВП на основі трійкових симетричних функцій (ТСФ) раніше не застосовувались для розв'язання задач ущільнення даних, незважаючи на ряд властивостей ТСФ, які вказують на перспективність розвідок у цьому напрямі [2, 4, 5]. Цим зумовлена актуальність аналізу ефективності застосування дискретного трійкового симетричного вейвлет-перетворення (ДТСВП) для розв'язання заданого класу задач.

Метою дослідження є оцінка ефективності застосування ДТСВП для ущільнення даних, отриманих на основі аналізу показників виробничих процесів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в успішній оцінці ефективності застосування ДТСВП для ущільнення даних, отриманих на основі аналізу показників виробничих процесів, що вказало на перспективність розробки та впровадження відповідних засобів ЦОІ у виробничих процесах.

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Усі ДВП побудовані таким чином, що вони утворюють дві групи коефіцієнтів: апроксимуючі та деталізуючі [2, 3, 6]. У апроксимуючих коефіцієнтах зберігається загальна інформація про послідовність даних, наприклад, тренд, тому, вони здебільшого не є нульовими [2, 3, 6]. Деталізуючі коефіцієнти містять інформацію про нюанси окремих областей послідовності даних, наприклад, величини відхилень від тренду, а тому, серед них часто зустрічаються близькі до нуля значення [2, 3, 6]. Відповідно, для ущільнення даних, здебільшого, відбувається відкидання саме деталізуючих коефіцієнтів ДВП, що не призводить до істотних значень похибки відновлення даних [3, 6].

Для оцінки ефективності застосування ДВП у задачах ущільнення даних та оцінки здатності ДВП концентрувати інформацію у апроксимуючих коефіцієнтах використовують критерій мінімуму ентропії деталізуючих коефіцієнтів ДВП [3, 7]

$$H = -\sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i^2}{\sum_{j=1}^N d_j^2} \log_2 \left(\frac{d_i^2}{\sum_{j=1}^N d_j^2} \right) \right), \quad (1)$$

де N – загальна кількість деталізуючих коефіцієнтів по всіх рівнях ВП, d_i – i -ий член послідовності деталізуючих коефіцієнтів всіх рівнів ВП.

Дані вибірки Matlab leessum включають в себе реальні дані про споживання електричного струму, які вимірювалися протягом трьох днів [6]. Цінність цього набору даних полягає у наявному шумі, який виник внаслідок прояву дефекту обладнання для моніторингу у процесі вимірювань [6]. На рисунку 1 наведено графік цього набору даних.

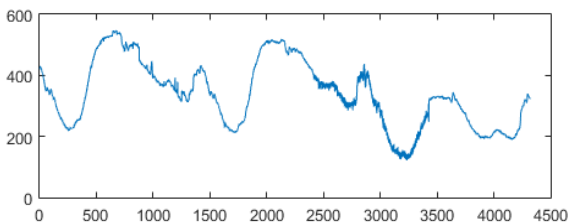


Рис. 1. Графік тестового набору даних Matlab leessum

Відповідно, результати, отримані на основі критерію (1) для вейвлет-коефіцієнтів ДВП, обчислених для тестової послідовності leessum, дозволяють оцінити здатність ДВП до ущільнення даних, джерелом яких є обладнання у реальних умовах виробництва, яким властива наявність шумів. На рисунку 2 наведені графіки залежності значення ентропії деталізуючих коефіцієнтів від кількості рівнів ДТСВП (ST), ДВП Хаара (Haar), ДВП Добеші 2-го, 3-го та 4-го порядків (db2, db3, db4) та біортогональних ДВП з параметрами 1.3, 2.2 та 3.7 (bior1.3, bior2.2, bior3.7).

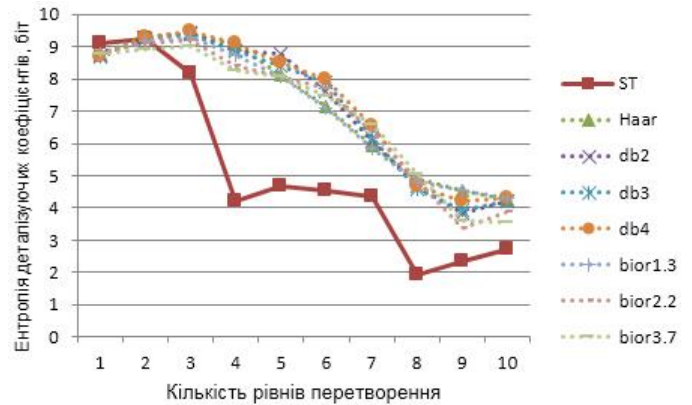


Рис. 2. Графіки залежності значення ентропії деталізуючих коефіцієнтів від кількості рівнів ДВП

Із отриманих графіків (рис. 2) випливає, що мінімальною ентропією деталізуючих коефіцієнтів серед досліджених ДВП володіє ДТСВП. Це вказує на те, що у апроксимуючих коефіцієнтах цього перетворення міститься більше інформації про послідовність даних, ніж у випадку інших ДВП, у зв'язку з чим, деталізуючі коефіцієнти ДТСВП частіше будуть набувати близьких до нуля значень (які можна відкинути), ніж у випадку інших ДВП.

ВИСНОВКИ

Результати проведених досліджень ефективності (рис. 2) застосування ДВП для ущільнення даних вказали на вищу ефективність застосування ДТСВП для розв'язання таких задач, у порівнянні з іншими ДВП у межах у 1,77-2,23 разів. Це підтверджує перспективність подальших досліджень щодо створення засобів ДТСВП для ЦОІ у виробничих процесах.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Э. Айфичер, Б. Джервис. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
- [2] P.S. Addison, The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance (Second Edition) / P.S. Addison, CRC Press, 2016, P. 446.
- [3] Д. Сэлмон, Сжатие данных, изображений и звука / Д. Сэлмон; пер. с англ. В.В. Чепыжова. – М.: Техносфера, 2004. – 368 с.
- [4] S. Prasad, Information Fusion in the Redundant-Wavelet-Transform Domain for Noise-Robust Hyperspectral Classification / S. Prasad, W. Li, J.E. Fowler, L.M. Bruce // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, September 2012, Vol. 50, No. 9, P. 3474-3486. doi:10.1109/TGRS.2012.2185053
- [5] A. Izmailov, "Symmetric Ternary Wavelet Transform and Its Application in Digital Information Processing," 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Lviv, Ukraine, 2019, P. 1127-1132. doi:10.1109/UKRCON.2019.8879808
- [6] Н.К. Смоленцев, Основы теории вейвлетов в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
- [7] R.R. Coifman and M.V. Wickerhauser, "Entropy-based algorithms for best basis selection," IEEE Transactions on Information Theory (Special Issue on Wavelet Transforms and Multiresolution Signal Analysis), Vol. 38, No. 3, 1992, P. 1241-1243.

Смарт-Технології у Кримінальному Судочинстві

Ольга Ковальчук
Кафедра прикладної математики
Тернопільський національний економічний університет
Тернопіль, Україна
olhakov@gmail.com

Smart Technologies in Criminal Justice

Olha Kovalchuk
Department of Applied Mathematics
Ternopil National Economic University
Ternopil, UKRAINE
olhakov@gmail.com

Анотація. У праці розглянуто можливості застосування інноваційних смарт-технологій для підвищення ефективності кримінального судочинства. Досліджено особливості впровадження прогнозних алгоритмів штучного інтелекту, методів вирішення ситуацій та підтримки прийняття рішень в інформаційно-аналітичну діяльність органів кримінальної юстиції. Проведено аналіз основних аспектів використання інструментів великих даних для розпізнавання образів, передбачення ризиків та інтелектуального аналізу інформації.

Abstract. Possibilities of application of information technologies of artificial intelligence and big data for the increase of efficiency of the criminal justice are considered in article. The basic aspects of the use of artificial intelligence algorithms in predictive policing, in particular risk-assessment algorithms based on machine learning systems that estimate the likelihood of recidivism for criminals, algorithms to definition of the convict criminals and decide jail time, algorithm to predict where crime will happen, artificial neural networks for distinguish criminals from non-criminals, algorithmic assistance in judicial decision-making in criminal justice are investigated. The analysis of possibility of application of instruments of big data policing for recognition of patterns, forecasting of risks and intellectual analysis of information, in particular technology assisted review in smart policing is conducted.

Ключові слова: *смарт-технології; штучний інтелект; big data; інтелектуальна діяльність правоохоронних органів.*

Keywords: *smart technology; artificial Intelligence; big data; smart policing.*

I. ВСТУП

Сучасні інформаційні технології та дані, створені смарт-пристроями, поступово перетворюють наш світ на розумний. Штучний інтелект (ШІ), великі дані (big data), Інтернет Речей, смарт-міста, діджиталізація, автоматизація, роботизація та нанотехнології створюють нові загрози, які будуть посилюватися в сучасному цифровому суспільстві. У найближчі роки ШІ та big data продовжать сприяти економічному зростанню і стануть

важливим інструментом у таких галузях, як охорона навколишнього середовища, економіка, транспорт, надання послуг, медицина, військова сфера, національна безпека та кримінальне правосуддя. Розумні пристрої є вразливими до кібератак, тому сьогодні спостерігається тенденція до збільшення злочинів, пов'язаних з кіберпростором, що суттєво впливає на безпеку. Для попередження та розкриття таких злочинів правоохоронні органи майбутнього повинні бути орієнтованими на інформаційні технології та науку про дані (data science), що надають інноваційні можливості для аналітично-інформаційної діяльності органів правопорядку.

II. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ ТА ВЕЛИКІ ДАНІ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІВ КРИМІНАЛЬНОЇ ЮСТИЦІЇ

Штучний інтелект пронизав майже кожен аспект нашого життя. Він може стати єдиною найбільш руйнівною технологією, яку побачив світ з часів промислової революції. Машинні прогнози не завжди є на 100% точними. Але вартість помилок різко зростає, коли ШІ реалізований у завданнях з надто високими ставками, такими як життя та свобода людей. Однак прогностичне правосуддя існує вже сьогодні. Алгоритми ШІ все частіше застосовують у кримінальному судочинстві для прогнозування можливих злочинів та оцінювання ймовірності їх рецидивів, у судах при призначенні застави чи покарання за вироком, встановленні вини чи невинуватості. Правоохоронні органи розвинених країн все частіше використовують у своїй аналітико-прогностичній діяльності методи проспективного картографування злочинів, передбачення ймовірних правопорушників і жертв злочину, прогнозування ідентичності винуватців. Використання алгоритмів машинного навчання для підтримки прийняття рішень у кримінальному судочинстві може бути надзвичайно корисним для судової системи загалом. Однією з найбільш важливих можливостей ШІ є те, що його алгоритми можна ефективно використовувати для оцінювання та зменшення кількості несправедливих вироків [1].

Інтелектуальна діяльність правоохоронних органів (smart policing) – це стратегічний підхід, який полягає в ефективному використанні даних та аналітики, підвищенні ефективності, впровадженні інновацій з метою зменшення рівня злочинності та вдосконалення доказової бази [2]. Правоохоронні відомства все частіше використовують передові технології для боротьби зі злочинністю, включаючи біометрику, аудіопрослуховування і навіть віртуальну реальність. Одним із найбільш суперечливих інструментів ШІ є використання прогностичних алгоритмів у діяльності правоохоронців (predictive policing). Це інструмент інтелектуальної діяльності органів кримінальної юстиції, який застосовує алгоритм для передбачення місця майбутнього злочину. Алгоритм формує прогностичні карти “гарячих точок” (“hot spot”), за якими проводять патрулювання. Ефективність алгоритму оцінюють за результатами здійснених арештів [3].

Одним із останніх успішних застосувань ШІ у кримінальному судочинстві є штучна нейронна мережа, яка може ідентифікувати злочинців за специфічними рисами обличчя (кутом між кінчиком носа та куточками рота, кривизною верхньої губи та відстанню між внутрішніми куточками очей). Алгоритм продемонстрував 90-відсоткову точність результатів. Система здатна ідентифікувати особу на двох світлинах, знятих з різних ракурсів та з різним освітленням. Як і за інтонацією голосу, ШІ може знайти приховані емоції на світлинах з нейтральним виразом обличчя, наприклад легку посмішку на фотографіях осіб, не пов'язаних із криміналом [4].

Правоохоронні органи все частіше застосовують аналітику великих даних для стеження, розпізнавання образів та пошуку інформації у соціальних мережах. Ці технології використовують як інструмент, що надає допомогу правоохоронцям при визначенні засуджених з низьким ризиком рецидивізму з метою встановлення можливості їх дострокового звільнення. Алгоритми big data ґрунтуються на передбаченні ймовірності вчинення підсудним злочину у майбутньому і призначені для інформування суддів про рекомендовану тривалість вироку. Обчислювальна система використовує статичні фактори ризику, такі як вік при першому арешті, стать або раса у поєднанні з динамічними факторами ризику, такими як сімейний стан, статус зайнятості та рівень освіти, для визначення порівняльного показника ризику на основі даних попередніх правопорушників. Такі програми спочатку мали на меті надавати інформацію для ухвалення післясудових рішень, наприклад підстави для можливого умовно-дострокового звільнення. Пізніше алгоритми великих даних почали застосовувати і для підтримки прийняття рішень досудового розгляду, наприклад при визначенні суми застави чи тривалості вироку. Однак існує велика небезпека отримання некоректних результатів використання алгоритмів великих даних у системі кримінальної юстиції через відсутність цілковитої

об'єктивності наборів даних та упередженість комп'ютерної системи до певних верств населення, зокрема темношкірих [5].

Широкого застосування у кримінальному судочинстві набули статистичні підходи та інформаційні технології для аналізу доказів та оцінки їх відповідності до розслідування, судового процесу, дотримання норм тощо. Технологічний огляд (Technology assisted review, TAR) – це термін, який охоплює багато різних аспектів машинного читання, включаючи аналітику та прогнозне кодування (predictive coding) для класифікації документів. За оцінками аналітиків застосування TAR може забезпечити 50-кратну економію витрат порівняно з традиційним аналізом документів [6]. Ця технологія є ефективною при формуванні доказової бази для обґрунтованого вирішення кримінального провадження та проведенні аналітики досудових рішень.

III. ВИСНОВКИ

Сучасні алгоритми штучного інтелекту вже сьогодні виконують основні юридичні завдання ефективніше та швидше, ніж висококваліфіковані правники. Вони здатні надати надійну підтримку при прийнятті рішень у кримінальному судочинстві. Технології big data дають можливість слідчим, експертам-криміналістам та органам судової влади ефективно аналізувати складні масиви інформації великих обсягів у швидко мінливому онлайн-середовищі. Застосування наукових досягнень у діяльності правоохоронних органів є необхідним у сучасному смарт-світі. Забезпечити безпеку та захист прав і свобод цифрового суспільства, що живе у смарт-містах, користуються розумними будинками, автономним транспортом і автоматизованою сферою послуг, можуть лише правоохоронні органи, що використовують сучасні смарт-технології.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] World Economic Forum, “Algorithms are being used to convict criminals and decide jail time,” *World Economic Forum*, 2018. [Online]. Available: <https://www.weforum.org>.
- [2] J. R. Coldren, A. Huntoon, and M. Medaris, “Introducing Smart Policing: Foundations, Principles, and Practice,” *Police Quarterly*, vol. 16, no 3, pp. 275-286, Sept., 2013. [Abstract]. Available: [Sage journals, https://journals.sagepub.com](https://journals.sagepub.com).
- [3] S. Fussell, “Study Finds Predictive Policing No More Racist Than Regular Policing,” *Gizmodo*, 2018. [Online]. Available: <https://gizmodo.com>.
- [4] World Economic Forum, “With leaps and bounds in technology, will AI ever be able to understand emotion?,” *World Economic Forum*, 2017. [Online]. Available: <https://www.weforum.org>.
- [5] M. Fingerhood, “The Misuse of Big Data Algorithms in the United States Criminal Justice System,” *Toward Data Science*, 26, Jun 2019. [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com>.
- [6] World Economic Forum, “Your next lawyer could be a machine,” *World Economic Forum*, 2017. [Online]. Available: <https://www.weforum.org>.

Self-Organized Structures in the Non-Crystalline Solids: Synergetic Model and Application to the Information Technology

Mykhaylo Mar'yan
dept. Solid State Electronics &
Information Security
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
mykhaylo.maryan@uzhnu.edu.ua

Nataliya Yurkovych
dept. Solid State Electronics &
Information Security
Uzhhorod National University
Uzhhorod, Ukraine
nataliya.yurkovych@uzhnu.edu.ua

Vladimir Seben
dept. Physics, Mathematics &
Technics University of Presov
Presov, Slovakia
vladimir.seben@unipo.sk

Самоорганізовані Структури в Некристалічних Тілах: Синергетична Модель та Застосування до Інформаційних Технологій

Михайло Мар'ян
кафедра твердотільної
електроніки та інформаційної
безпеки
Ужгородський національний
університет
Ужгород, Україна
mykhaylo.maryan@uzhnu.edu.ua

Наталія Юркович
кафедра твердотільної
електроніки та інформаційної
безпеки
Ужгородський національний
університет
Ужгород, Україна
nataliya.yurkovych@uzhnu.edu.ua

Владімір Шебен
кафедра фізики, математики та
техніки
Пряшівський університет
Пряшів, Словаччина
vladimir.seben@unipo.sk

Abstract—A synergetic model of the non-crystalline solids is proposed and substantiated, which takes into account the formation of a spectrum of possible spatial-temporal levels of structuring at different stages of obtaining, the influence of external factors (electromagnetic radiation, change velocity of temperature, bio-exchange with the environment). It has been shown that the integrity of the formation of a non-crystalline state can be taken into account by applying a synergetic approach within the theory of self-organized structures and allows one to determine directly the method of formation in combination with the conditions of obtaining. The dependence of the lifetime and period of self-organized structures on the cooling velocity and synthesis temperature is investigated. In particular, it was found that the period of structuring for self-organized systems of non-crystalline materials correlates with micro-, nanosizes of medium order. The nature of the bifurcation transition to a non-crystalline state in the framework of the theory of neural networks with Hebb's and Kohonen's algorithms is revealed. The following issues also analyzed: forecasting of materials for artificial intelligence and synergetic approach to their development; study of the ordered levels (scales of spatial ordering, spatial-temporal ordering, and time intervals of instabilities) and their application in cyber systems. The fractality of the lifetime for self-organized structures is established and investigated, which is essential for the implementation of hypersensibility in information processing systems on their basis. Shown is the possibility of the implementation obtained results on the study of physical processes in the non-crystalline solids also at investigation of structuring and integrity of the information systems.

Анотація—Запропонована та обґрунтована синергетична модель некристалічних твердих тіл, яка враховує формування спектру можливих просторово-часових рівнів структурування на різних стадіях одержання, вплив зовнішніх факторів (електромагнітного випромінювання, швидкості зміни температури, біообмін з навколишнім середовищем). Показано, що цілісність утворення некристалічного стану може бути врахована із застосуванням синергетичного підходу в рамках теорії самоорганізованих структур і дає змогу безпосередньо визначити спосіб формування у поєднанні з умовами одержання. Досліджена залежність часу життя та періоду самоорганізованих структур від швидкості охолодження та температури синтезу. Зокрема встановлено, що період структурування самоорганізованих систем некристалічних матеріалів корелює з мікро-, нанорозмірами середнього порядку. Розкрито характер біфуркаційного переходу в некристалічний стан в рамках теорії нейронних мереж з алгоритмами Хебба та Кохонена. Проаналізовано також наступні питання: прогнозування матеріалів для штучного інтелекту та синергетичний підхід до їх розробки; вивчення рівнів упорядкування (шкали просторового та просторово-часового впорядкування, часових інтервалів нестабільності) та їх застосування в кіберсистемах. Встановлено та досліджено фрактальність часу життя самоорганізованих структур, що має важливе значення для впровадження гіперчутливості в системах обробки інформації на їх основі. Показана можливість реалізації отриманих результатів щодо вивчення фізичних процесів в некристалічних тілах також і при дослідженні структурування та цілісності інформаційних систем.

Keywords—artificial intelligence; fractality; information technology; nanosized structured levels; neural networks; computer modeling; self-organized structures; synergetics

Ключові слова—штучний інтелект; фрактальність; інформаційні технології; нанорозмірні рівні структурування; нейронні мережі; комп'ютерне моделювання; самоорганізовані структури; синергетика

I. INTRODUCTION

The non-crystalline materials and the self-organized structures that formed in them have much in common with information systems and technologies, complementing and developing single shared information nature [1-3]. The transition to micro-, nanodimensional levels cardinally changes the structure of non-crystalline materials, the processes of transfer and processing of information (this refers primarily to the presence of self-organization processes [2-4]), the fractality of the perception of information [5,6]. This indicates that information processes in non-crystalline materials at the micro-, nano-, and subsequent spatial-temporal levels contain new information that can cardinally rebuild the very approach to information technology, determine the nature of compatible, complementary development through pathways without dissipative functioning [3]. That is, what is available for self-organized structures in non-crystalline and intelligent materials can not only be practically used in smart things, in the development of artificial intelligence, but also directly affect the perception and awareness of information reality: the possibilities development of new integrated programming environments, processing and transmission systems of information. In this article the following issues analyzed: forecasting of materials for artificial intelligence and synergetic approach to their development; study of the ordered levels (scales of spatial ordering, spatial-temporal ordering, and time intervals of instabilities) and their application in cyber systems.

II. SELF-ORGANIZED STRUCTURES IN THE NON-CRYSTALLINE SOLIDS AND THEIR MODELING

Existing model approaches to describing the structure of non-crystalline solids and the transition to a non-crystalline state consider either individual characteristic time scales of their formation, or a separate group of properties and features of the structure. With significant deviations of the system from equilibrium and in external fields more than critical, synergistic effects and the mechanism of transformation of energy and information play a decisive role [5-8]. The integrity of the formation of a non-crystalline state can be taken into account with the use of a synergetic approach within the framework of the theory of self-organized structures, which makes it possible to determine the mode of formation in conjunction with the technological conditions of obtaining and to predict the possibilities of using information technologies (Fig. 1).

The investigations of the influence of soft atomic configurations σ on the dynamic stability of crystalline and non-crystalline solids, the processes of self-organization and branching of solutions for a self-consistent system of equations in the transition to a non-crystalline state are presented. The synergetic model of temperature behavior of microscopic characteristics (mean square displacements $y_1(D_1^{aa})$, $y_t(D_t^{aa})$, frequency of oscillations of atoms ω , force constant f) at small and significant deviations from the

state of equilibrium is developed, taking into account branching solutions of self-consistent system of equations:

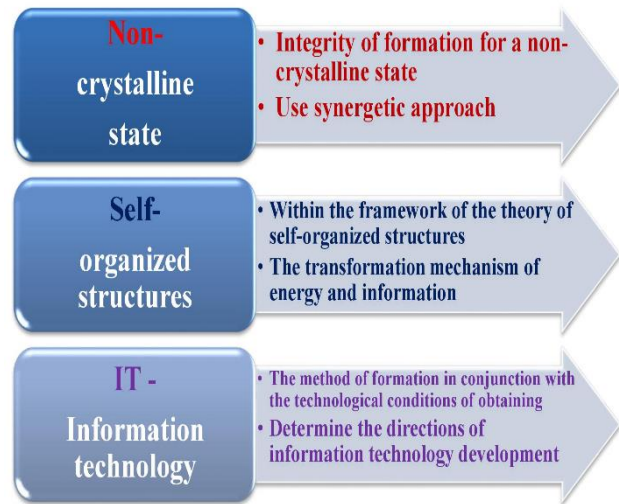


Fig.1. Integrity of the non-crystalline state formation

$$F_1(\sigma) = -\tilde{a}_0 \tilde{q} \eta + c \eta^2 + b \eta^3, \quad F_2(y_t) = \frac{\eta_{y_t}}{\tau_{y_t}}, \quad F_3(y_t) = \frac{\eta_{y_t}}{\tau_{y_t}} \quad (1)$$

Here the functions $F_1(\sigma)$, $F_2(y_t)$, $F_3(y_t)$ are determined according to the equations [2, 6, 9]:

$$F_1(\sigma) = \sigma \xi_p + (1 - \sigma) z \left\{ \frac{e^{-y_t}}{2} \left[B(y_t) - \frac{P^* e^{y_t}}{12(1 - \sigma)^2} \left(\frac{r}{a_0} \right)^2 \right] + \frac{G_0/V_0}{(1 + 2y_t)} \right\} - z(1 - \sigma) \sigma \left(1 + \frac{y_t}{4} - \frac{1}{6} \ln \frac{B(y_t)}{2} \right) A(y_t) - \tau \ln \frac{g_2 - 1}{g_1 - 1} \frac{1 - \sigma}{1 - \sigma} = 0,$$

$$F_2(y_t) = \frac{3e^{-y_t} \tau}{8\sqrt{2}(1 - \sigma)} \left[B(y_t) + \frac{P^* e^{y_t}}{6(1 - \sigma)^2} \left(\frac{r}{a_0} \right)^2 \right]^{-1} \left[1 + \frac{0.022(1 + 2y_t)^2}{e^{y_t} \left[B(y_t) + \frac{P^* e^{y_t}}{6(1 - \sigma)^2} \left(\frac{r}{a_0} \right)^2 \right]} \right] - y_t = 0,$$

$$F_3(y_t) = \frac{3(1 + 2y_t) \tau}{8(1 - \sigma) e^{\frac{y_t}{2}}} \left[B(y_t) + \frac{P^* e^{y_t}}{6(1 - \sigma)^2} \left(\frac{r}{a_0} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} - y_t = 0,$$

q is a cooling velocity, $\tilde{q} = (q - q_c)/q_c$, q_c is the limiting cooling velocity, $\eta = \sigma - \sigma_e$, $\eta_{y_t} = y_t - y_t|_e$, $\eta_{y_t} = y_t - y_t|_e$ (index "e" corresponds to the equilibrium state), \tilde{a}_0 , c , b are the parameters of model, τ_{y_t} and τ_{y_t} are the relaxation times [2].

Gives an opportunity to investigate its stability under various external control parameters q [6, 7]. Fig. 2, 3 shows the results of calculating the temperature dependence of the fraction of atoms in soft atomic configurations σ and reduced mean square displacements y_1, y_t :

$$y_l = \frac{36D_l^{\alpha\alpha}}{a_0^2}, \quad y_t = \frac{4D_t^{\alpha\alpha}}{a_0^2}. \quad (2)$$

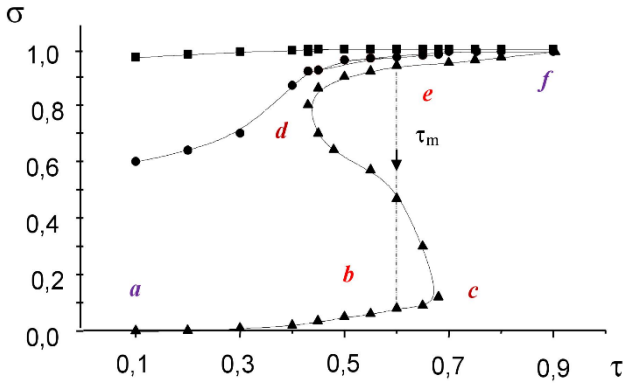


Fig.2. Temperature dependence of the fraction for atoms in soft configurations σ at different cooling velocity q (\blacktriangle - $q=0$, \bullet - $q=5 \cdot q_c$, \blacksquare - $q=21 \cdot q_c$).

Here are reduced to the interatomic distance a_0 in harmonic approximation, the mean square displacements of atoms along the bond $D_l^{\alpha\alpha}$ and perpendicular to it $D_t^{\alpha\alpha}$; $\tau = k_B T / V_0$ is a reduced temperature (V_0 is the energy of bond dissociation); $P^* = \frac{Pa_0^3}{\sqrt{2}V_0}$ is the reduced pressure; **ab** is

the region of dynamic stability of the crystalline state, **ef** is the region of the loss of the dynamic stability of the crystalline state, **bc** and **de** are the metastable states). As a parameter of the order of the system, a fraction of atoms in soft atomic configurations can be used, in combination with the sizes of self-organized regions on the micro-, nanolevels $\eta_m = \sigma(\tau \ll \tau_m)$. It has been shown for the first time that configurations exist in a wide temperature region and can play an essential role not only near the temperature of loss of dynamic stability τ_m and have a significant effect on the behavior of the system at significant deviations from equilibrium (Fig. 2, $q \geq q_c$, q_c is a limit cooling velocity).

In the temperature range of the loss of dynamic stability, there is a jump of reduced mean square displacements of atoms (in the **ab** region we have $y_l \approx 0.3 \div 0.5$, $y_t \approx 0.2 \div 0.3$ and the relative amplitudes of neighboring atoms displacements $\sqrt{D_l^{\alpha\alpha}}/a_0 \approx 5 \cdot 10^{-3} \div 10^{-2}$), which is the result of a strong

anharmonicity of atomic oscillations, the formation of the configurations areas and the growth of their fraction at $\tau \rightarrow \tau_m$, $\sigma(\tau_m) \approx 0.07$ (Fig. 2, 3). At the same time, the change is interatomic distance $(r - a_0)/a_0 \approx 10^{-2}$ at $\tau \rightarrow \tau_m$ is

insignificant, which indicates the preservation of the near-order in the loss of dynamic stability. The transition temperature τ_m is depends on pressure, increasing with growth P^* according to the ratio

$$\tau_m(P^*) \approx 0.52(1 + 0.34P^*) \quad (3)$$

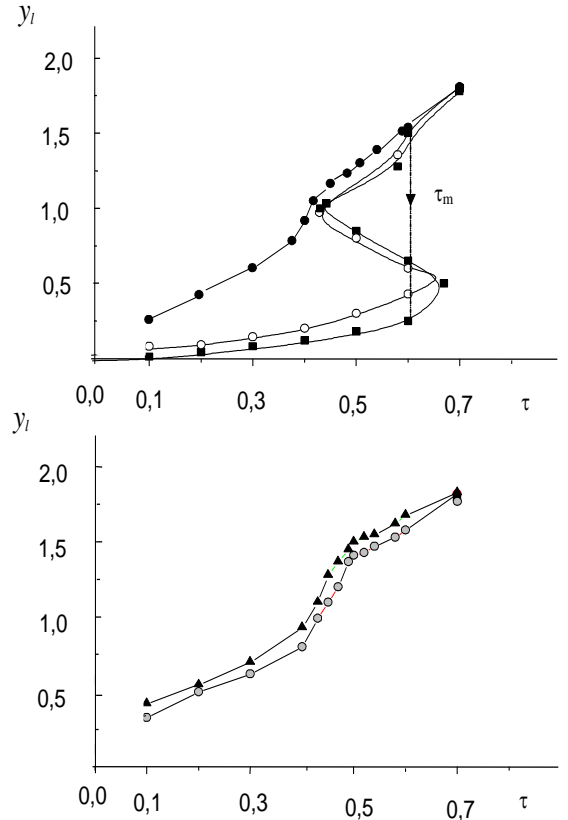


Fig. 3. Temperature dependence of the reduced mean square displacements of atoms y_l (\blacksquare - $q=0$, \circ - $q=0.5 \cdot q_c$, \bullet - $q=q_c$, \odot - $q=5 \cdot q_c$, \blacktriangle - $q=21 \cdot q_c$).

and approximated to the melting curve of the real crystal.

Model ideas are presented on the formation of the self-organized structure for non-crystalline solids as a method of self-organization of the system, which is carried out in accordance with the technological conditions of obtaining and under the influence of external fields. Above the point of loss of stability of a thermodynamically equilibrium state is shown the existence of cooling velocities above the limiting velocity q_c of a self-organized structure. It is established that in a system which, when $q < q_c$ it was uniformly stable, with a cooling rate $q \geq q_c$ spontaneously generates own scale of ordering L_c . The dependence of the lifetime τ_{life} and the period of self-organized structures L_c on the cooling velocity are studied. In particular, for non-crystalline materials systems $As-S(Se)$ with characteristic values $q_c = 5 \cdot 10^{-3} K/s$, $q = (1.5 \cdot 10^{-2} \div 1) K/s$ period $L_c \approx (1 \div 10) nm$ and correlates with the size of the middle order [3, 8]. The synergetic approach analyzes the common features of the transition to non-crystalline state for chalcogenide, oxide, metallic, and organic glasses, namely the presence of self-organizing processes and the formation of self-organized structures [2].

III. FRACTALITY OF THE NON-CRYSTALLINE STATE AND INFORMATION TECHNOLOGIES

The nature of the bifurcation process of transition to a non-crystalline state in the framework of the theory of neural networks with Hebb's and Kohonen's algorithms is revealed. Considerable attention is paid to the study of self-organizing models that model themselves, the algorithmic complexity of the self-organized structure. It is shown that the self-organization processes in non-crystalline materials, as well as self-consistent allocation through the self-organizing processes of order parameters, can be investigated using the theory of neural networks with Hebb's and Kohonen's algorithms (Fig. 4).

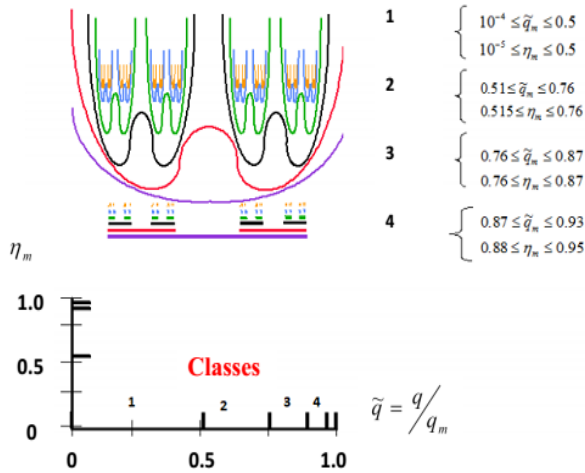


Fig. 4. Classes of fractal structuring for the non-crystalline solids

Structure of states according to experimental structural-sensitive data of non-crystalline solids As_2S_3 was revealed, depending on the cooling rate, which allows determining the spectrum of self-organized structures in the form of a fractal structure. The fractal structure of the bifurcation process of transition to the non-crystalline state and the functional dependence of the structural-sensitive parameters $f(\tilde{q}_m)$ on the reduced cooling rate \tilde{q}_m in the form $f(\tilde{q}_m) \equiv \tilde{q}_m^{d_f}$ where the fractal dimension $d_f = 0.631$ is established. This is considered as one of the possible variants of the formation of a fractal structure (Fig. 4, 5).

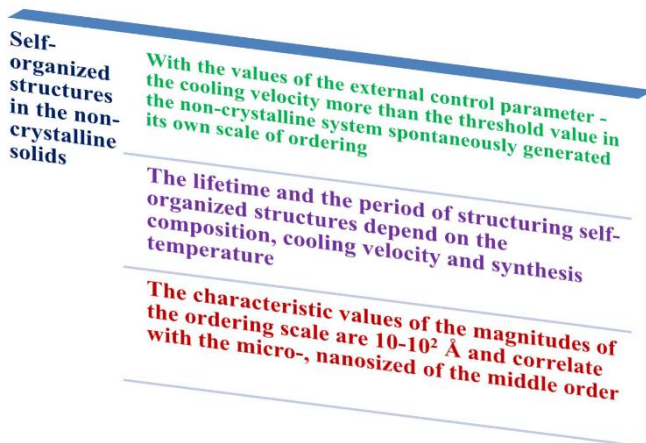


Fig. 5. Self-organized structures in the non-crystalline solids

The performed studies and computer modeling show and confirm the formation of the fractal structure for the non-crystalline state. The paradox and peculiarity is that the versatility of the structure and properties of non-crystalline materials is given not statistically, randomly or partially, but, conversely, account is taken of the totality and multiplicity of the fractal structure itself [7-9]. This is a fundamentally excellent approach to the formation of intelligent non-crystalline materials: the features of structure and parameters are not limited introduced from the outside, but are manifested and determined through the formation of a fractal structure. That is, these unique properties are self-sufficiently discovered and provided by the fractal structure itself [3, 8].

CONCLUSIONS

Self-organized structures of the non-crystalline materials have a hypersensitive that is related to their informational nature and can be applied to the development of sensory devices for information technology based on them [2-4]. The results of the research of the information component of self-organized structure show that the lifetime τ_{life} owns a fractal structure [10]. This indicated phenomenon defines and forms an extremely unique feature of self-organized structures - is the hypersensitivity. This is extremely important in the development of nano- and intelligent materials of the artificial intelligence [4, 7]. It is also relevant to apply the principles of functioning of self-organized structures in the development of software algorithms for cybersecurity systems, artificial intelligence.

REFERENCES

- [1] M.I. Mar'yan, A. Szasz, P. Szendro & A. Kikineshy, "Synergetic model of the formation of non-crystalline structures", *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 351, No 2, pp. 189-193, 2005.
- [2] M. Mar'yan, V. Seben V. & N. Yurkovych, *Synergetics and Fractality in Science Education*. Presov: University of Presov in Presov Publishing, 2018.
- [3] M. Mar'yan & N. Yurkovych, *Fractality of the non-crystalline solids and other systems. Synergetics & Self-Organization*. Riga: Lambert Academic Publishing, 2018.
- [4] M. Mar'yan, N. Yurkovych & V. Seben, V. "Nanosized Levels of the Self-Organized Structures in the Non-Crystalline Semiconductors As-S(Se) System", *Semiconductor physics, quantum electronics and optoelectronics*, vol. 22, No 3, pp. 299-309, 2019.
- [5] H. Haken & A. Mikhailov, *Interdisciplinary Approaches to Nonlinear Complex Systems*. NY: Springer, 2012.
- [6] M. I. Mar'yan, V. Seben & N.V. Yurkovych, "Synergetics of thermoinduced instabilities and hypersensitivity of the non-crystalline materials in cybersecurity systems" in IV International Scientific and Practical Conference "Actual Issues of Ensuring Cybersecurity and Information Protection". February 21-24, 2018, Kyiv, European University (Ukraine), pp. 148-150.
- [7] M. Mar'yan, V. Seben & N. Yurkovych, *Innovative Technologies of Computer Modeling for Physical and Information Processes: Synergetics of Information and Communication Systems*. Presov: University of Presov in Presov Publishing, 2019.
- [8] M. Mar'yan & N. Yurkovych, "Synergetics of the neural networks in the cyber systems: self-organization and fractality" in Scientific-practical conference "Actual questions of cybersecurity", Kharkiv, November 23, 2018, pp. 220-223.
- [9] M. Mar'yan, N. Yurkovych & V. Seben, "Self-organized structures and fractality of the non-crystalline materials As(Ge)-S(Se) systems" in 24th Conference of Slovak Physicists Proceedings, Published Slovak Physical Society, EQUILIBRIA, s.r.o., Košice, 2019, pp. 89-90.
- [10] M. Mar'yan, N. Yurkovych & V. Seben, "Formation and Modeling of Nanosized Levels of the Self-Organized Structures in the Non-Crystalline Thin Films of Ge-As-Te(S,Se) Systems", *Journal of Nano- and Electronic Physics*, vol. 11, No5, pp. 05028:1-8, 2019.

Алгоритм Побудови Масштабних Функцій Вейвлетів Галуа

Наталія Превисокова
кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”
Івано-Франківськ, Україна
prevysokova.n@gmail.com

Algorithm for Constructing Scaling Functions of the Galois Wavelets

Nataliia Prevysokova
Department of Computer Science and Information Systems
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
prevysokova.n@gmail.com

Анотація—Розроблено алгоритм побудови масштабних функцій для вейвлетів на основі функцій Галуа, що лежать в основі багатомасштабного аналізу і виконання вейвлет перетворень в цифровій обробці інфопотоків. Наведено властивості побудованого базису.

Abstract—An algorithm for constructing scaling functions for wavelets based on the Galois functions is developed. These scaling functions are the base of multiresolutional analysis and calculation of wavelet transforms in digital signal processing. The properties of the constructed orthogonal basis are given. Filters for the filter form of wavelet transform are calculated.

Ключові слова—вейвлет, масштабна функція, система функцій Галуа, багатомасштабний аналіз, вейвлет-перетворення, фільтри.

Keywords—wavelet, scaling function, Galois functions system, multiresolutional analysis, wavelet transform, filters.

I. ВСТУП

Вейвлет-аналіз є одним із розділів математики, який активно розвивається і широко використовується в галузі цифрової обробки та зменшення надлишковості інформаційних потоків [1-3]. Підвищення вимог до якості обробки інфопотоків зумовлює необхідність синтезу базисів ефективних вейвлет-перетворень [1-3].

Базиси вейвлетів [1] будуються на основі відповідних їм систем масштабних функцій та фільтрів. Одним із інструментів для побудови базисів масштабних функцій та базисів вейвлетів є апарат багатомасштабного аналізу [1]. Багатомасштабний аналіз включає побудову системи просторів, в яких означаються масштабні функції, як

основа аналізу. Далі визначається материнський або породжуючий вейвлет через масштабні функції та розкладається функція-модель інформаційного потоку в базисі вейвлетів. Коефіцієнти розкладання називаються фільтрами. На основі багатомасштабного аналізу реалізується фільтрова форма вейвлет-перетворення.

У роботі [4] побудовано системи вейвлетів на основі функцій Галуа в аналітичній формі, водночас не достатньо досліджено основи фільтрової форми перетворення. Тому метою досліджень є побудова системи масштабних функцій вейвлетів на основі породжуючих функцій Галуа та обчислення фільтрів для можливості реалізації багатомасштабного аналізу.

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Система вейвлет-функцій на основі функцій Галуа утворюється перенесеннями та масштабними змінами однієї функції – материнського вейвлета. В якості породжуючого вейвлета використовується перша функція Галуа n -го порядку $Gal_{n,0}(\theta)$, яку можна утворити із системи функцій Уолша з рекурсивним впорядкуванням [2], визначених на інтервалі $[0, M)$, $M = 2^p$, $p \in \mathbb{N}$

$$Gal_n(\theta) = Gal_{n,0}(\theta) = Wal_{Ent(\theta)}\left(\frac{M}{2^n}\right),$$

де $Ent(\theta)$ – функція виділення цілої частини, номер функції Уолша в рекурсивно впорядкованій системі, $n = 2, 3, 4, \dots$

Для обчислення вейвлет-перетворення у фільтровій формі та виконання багатомасштабного аналізу

використовуються масштабні функції. Функція $\varphi(\theta)$ називається масштабною [3], якщо вона подається

$$\varphi(\theta) = \sqrt{2} \sum_{s \in Z} g_s \varphi(2\theta - s),$$

де g_s задовольняють умову $\sum_{s \in Z} |g_s|^2 < \infty$.

Масштабна функція для материнського вейвлета $Gal_n(\theta)$ [4]

$$\varphi(\theta) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < 1, \\ 0, & 1 \leq t < M. \end{cases}$$

В основу багатомасштабного аналізу покладається побудова множини вкладених просторів V_k [1, 3].

Пропонований алгоритм побудови масштабних функцій містить наступні етапи.

1. Із функції $\varphi(\theta)$ за допомогою цілочисельних перенесень на $b \in Z$ утворюється система функцій

$$\varphi_{0,b}(\theta) = \varphi(\theta - b).$$

Простір, породжений лінійними комбінаціями перенесених функцій, позначимо V_0 .

2. Будується система функцій $\varphi_{1,b}(\theta)$, яка утворює ортонормований базис простору V_1

$$\varphi_{1,b}(\theta) = \sqrt{2} \varphi(2\theta - b).$$

Функція $\varphi(\theta) \in V_0$ є лінійною комбінацією функцій із V_1

$$\varphi(\theta) = \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi_{1,0}(2\theta) + \frac{1}{\sqrt{2}} \varphi_{1,1}(2\theta - 1).$$

3. Процес побудови систем функцій, утворених масштабуванням і зсувами функцій $\varphi(\theta)$, продовжується для довільного $k \in Z$ і будується ортонормована система

$$\varphi_{k,b}(\theta) = \sqrt{2^k} \varphi(2^k \theta - b).$$

4. Мають місце наступні вкладення множини просторів $V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset V_k$.

5. Система $\varphi_{0,b}(\theta)$ утворює ортонормований базис, і материнський вейвлет $Gal_n(\theta)$ розкладається в даному базисі [4]:

$$Gal_n(\theta) = \sqrt{2} \sum_{s=0}^{2^{n+1}-1} h_s \varphi(2\theta - s), \quad (1)$$

де h_s – фільтри системи вейвлетів.

Здійснено розкладання материнських вейвлетів $Gal_n(\theta)$ в системах масштабних функцій та обчислено значення фільтрів h_s, g_s . Наприклад, ненормовані вейвлет-функції $Gal_2(\theta)$ і $Gal_3(\theta)$ розкладаються згідно (1) в системі $\varphi(2\theta)$ наступним чином

$$Gal_2(\theta) = \varphi(2\theta) + \varphi(2\theta - 1) + \varphi(2\theta - 2) + \varphi(2\theta - 3) - \\ - \varphi(2\theta - 4) - \varphi(2\theta - 5) - \varphi(2\theta - 6) - \varphi(2\theta - 7),$$

$$\varphi(\theta) = \varphi(2\theta) + \varphi(2\theta - 1).$$

$$Gal_3(\theta) = \varphi(2\theta) + \varphi(2\theta - 1) + \varphi(2\theta - 2) + \varphi(2\theta - 3) - \\ + \varphi(2\theta - 4) + \varphi(2\theta - 5) - \varphi(2\theta - 6) - \varphi(2\theta - 7) + \\ + \varphi(2\theta - 8) + \varphi(2\theta - 9) - \varphi(2\theta - 10) - \varphi(2\theta - 11) - \\ - \varphi(2\theta - 12) - \varphi(2\theta - 13) - \varphi(2\theta - 14) - \varphi(2\theta - 15).$$

Коефіцієнти h_s, g_s відповідних фільтрів для функції $Gal_2(\theta)$ дорівнюють $h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 1, h_3 = 1, h_4 = -1, h_5 = -1, h_6 = -1, h_7 = -1, g_0 = 1, g_1 = 1$.

Коефіцієнти фільтрів для функції $Gal_3(\theta)$ дорівнюють $h_0 = 1, h_1 = 1, h_2 = 1, h_3 = 1, h_4 = 1, h_5 = 1, h_6 = -1, h_7 = -1, h_8 = 1, h_9 = 1, h_{10} = -1, h_{11} = -1, h_{12} = -1, h_{13} = -1, h_{14} = -1, h_{15} = -1$.

III. ВИСНОВКИ

Таким чином, побудовано ортонормовані базиси масштабних функцій вейвлетів на основі функцій Галуа, обчислено коефіцієнти фільтрів. Проведені дослідження дозволяють здійснювати багатомасштабний аналіз та вейвлет-перетворення інформаційних потоків в розглянутих базисах в фільтровій формі, а також є основою синтезу нових систем вейвлетів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] И. Добеши, Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001.
- [2] Л.Б. Петришин, Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації, К.: ІЗМН МОУ, 1997.
- [3] N.K. Smolencev, Fundamentals of the theory of wavelets in MATLAB. DMK Press, Moscow 2005. (in Russian).
- [4] N.V. Prevysokova, Family of wavelet functions on the Galois function base // Carpathian Mathematical Publications. – Vol 8, No 2 (2016). – p.295-304.

СЕКЦІЯ 5.

Захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах

SECTION 5.

Information protection in information and telecommunication system

Псевдонедетерміновані Криптографічні Перетворення для Захисту Даних Смарт-Контрактів

Юрій Баришев
кафедра захисту інформації
ВНТУ
Вінниця, Україна
yuriy.baryshev@vntu.edu.ua

Аліна Остапенко-Боженова
кафедра захисту інформації
ВНТУ
Вінниця, Україна
ostapenko-bozhenova_a_v@vntu.edu.ua

Pseudonondeterministic Cryptographic Transformations for Smart Contracts' Data Protection

Yurii Baryshev
dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine
yuriy.baryshev@vntu.edu.ua

Alina Ostapenko-Bozhenova
dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University,
Vinnytsia, Ukraine
ostapenko-bozhenova_a_v@vntu.edu.ua

Анотація — робота присвячена дослідженню імплементації методів псевдонедетермінованих криптографічних перетворень для технологій розподіленого реєстру. Основна увага зосереджена на покращенні захисту даних, що зберігаються в межах смарт-контрактів.

Abstract — This work is devoted to the research of pseudonondeterministic cryptographic transformation methods implementation for distributed ledger technologies. The focus of the research is set on security improving for data stored in a smart contracts.

Ключові слова — криптографія; смарт-контракт; блокчейн, псевдонедетермінований, алгоритмічна складність

Keywords— cryptography; smart contracts; blockchain; pseudonondeterministic; algorithm complexity.

I. ВСТУП

Ідея використання програмного коду як арбітра при укладанні угод зародилася наприкінці ХХ століття. Одною із знакових робіт є робота Н. Сабо [1], де він запропонував укласти електронні самокеровані контракти. Привабливість даної ідеї полягає в тому, що керування за виконанням контрактів та вирішенням конфліктних ситуацій забезпечуватиме мережа комп'ютерів, яка працюватиме відповідно до погодженого раніше сторонами алгоритму. Така організація угод дозволить зменшити вплив людського фактору на вирішення конфліктних ситуацій, запобігти зловживанням на тлі

різничитань положень угоди та демотивувати сторони, порушувати раніше погоджені умови. Однак на час виходу роботи [1] були відсутні технічні можливості реалізації ідеї смарт-контрактів.

У 2008 році було показано як на практиці можливо реалізувати ідею смарт-контрактів, завдяки появі технології блокчейн [2], а у 2013 році після створення проекту Ethereum (Ефіріум) [3, 4] смарт-контракти, хоча й з деякими обмеженнями щодо максимальної складності їх алгоритмів, змогли бути реалізованими на практиці.

Найбільший потенціал щодо поширення смарт-контрактів мають урядові організації, які потребують прозорості свого функціонування чи пов'язані із сектором критичних інфраструктур [5], а також сфера підприємницької діяльності [6, 7], де передбачаються розрахунки та дії, зумовлені платежами. Проте використання публічного блокчейну, до якого мають доступ всі користувачі мережі, унеможливило зберігання там конфіденційних даних, і як наслідок, суттєво обмежує його використання для приватних підприємств та фінансового сектору. Водночас використання приватних блокчейнів має багато застережень, пов'язаних з їх прозорістю [7].

Особливість реалізації функцій у смарт-контрактах блокчейну Ethereum накладає жорсткі обмеження на обсяг даних та швидкість їх передавання, що робить традиційні криптографічні алгоритми неадекватними доступним

ресурсам. Відповідно, важливо розробити нові криптографічні перетворення, які вимагатимуть меншої кількості використовуваних ресурсів при заданих показниках стійкості. Саме тому метою даного дослідження є покращення захисту конфіденційних даних, що зберігаються в смарт-контрактах, шляхом розробки нових криптографічних перетворень.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- адаптація концепції псевдодетермінованих криптографічних перетворень для технології блокчейн;
- дослідження базових перетворень для реалізації концепції псевдодетермінованих перетворень на платформі блокчейну Ethereum;
- розробка методів псевдодетермінованих криптографічних перетворень для шифрування та гешування даних;
- дослідження властивостей імплементації розроблених методів у смарт-контрактах.

II. АНАЛІЗ БАЗОВИХ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ПСЕВДОНЕДЕТЕРМІНОВАНИХ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПРИМІТИВІВ У СМАРТ-КОНТРАКТАХ

Відомі криптографічні алгоритми передбачають використання певної послідовності операцій, при цьому стійкість забезпечується тим, що зловмиснику невідомі всі або декілька операндів, які називають ключем. Якщо зловмиснику не будуть відомі й самі операції, то він не зможе зламати алгоритм методом, відмінним від грубої сили повного перебору, оскільки виконати криптоаналіз алгоритму для пошуку вразливостей стане неможливим.

Особливості організації технологій розподіленого реєстру унеможливають "закриття" алгоритмів, оскільки байт-код контракту є відкритим для всієї громадськості і порівняно легко може бути перетворений у свій опис мовою високого рівня, такої як Solidity [8], яка є адекватною для розуміння та аналізу програмістами. Отже, зробити криптографічне перетворення закритим на технології смарт-контракту – неможливо. Тому актуальною задачею є створення таких математичних моделей криптографічних перетворень, які б залишаючись відкритими для громадськості, дозволяли унеможливити пошук "лазівок" в собі з боку криптоаналітиків.

Для цього пропонується використовувати ключ, як основу для генерування алгоритму криптографічного перетворення. Таким чином, конкретне значення ключа визначатиме реалізацію криптографічного перетворення, а для решти сторін виконання цього перетворення відбуватиметься недетерміновано [9].

Тому необхідно попередньо виконати аналіз вимог до базових операцій, на основі яких будуть розроблені елементи криптографічних перетворень.

Для того, щоб відповідати сучасним вимогам прикладного застосування, криптографічні примітиви, повинні швидко виконуватись на сучасному апаратному

забезпеченні, тобто бути природними для універсальних мікропроцесорів [3, 8]. Природними операціями для універсальних мікропроцесорів є такі: додавання за модулем 2^n (+); додавання за модулем 2 (xor); інвертування (~); логічне множення (\wedge); логічне додавання (\vee); циклічний зсув на n біт праворуч ($\ggg n$); простий зсув на n біт праворуч/ліворуч ($\gg n$ / $\ll n$). Причому +, $\ggg n$, $\gg n$ / $\ll n$ є регістровими операціями.

Із визначених вище операцій, базуючись на особливостях реалізації блокчейну Ethereum [3], мови програмування Solidity [8] та аналізу вимог до криптографічних перетворень [10] для псевдодетермінованих криптографічних примітивів було обрано такі: xor, ~, \wedge , \vee та $\ggg n$.

III. МЕТОДИ КРИПТОГРАФІЧНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

Основними напрямками захисту інформації при використанні смарт-контрактів визначено конфіденційність, автентичність даних і користувачів, а також довіру сторін. При цьому остання вимога забезпечується особливостями реалізації протоколів консенсусу та процедур верифікації у технології блокчейн [2-4]. Більше того дана властивість може бути підсилена використанням інших моделей забезпечення довіри [11] на рівні вузлів при подальшому розвитку технології блокчейн. Відповідно перед криптографічними перетвореннями першочергово стоїть задача забезпечення конфіденційності та автентичності даних смарт-контракту.

Для забезпечення першої пропонується метод псевдодетермінованого шифрування, а для другої – метод псевдодетермінованого гешування, побудовані на основі операцій, визначених у попередньому підрозділі. Метод шифрування представлений у вигляді виконання трьох етапів [12]:

- етап формування ключової інформації;
- етап формування структури блоку;
- етап вибору виду структури перетворення.

Етап формування ключової інформації:

- розгортання секретного ключа та виділення раундових ключів;
- виділення з раундового ключа відповідного набору ознак (кількість підблоків; розрядність підблоку; вид структури перетворення).

Етап формування структури блоку полягає у розбитті вхідного повідомлення (M) на блоки ($m_1 \dots m_i$), розмір яких визначається ознаками.

Етап вибору виду структури перетворення:

- передобчислення: побудова бази алгоритмів шифрування відповідно до кількості підблоків: формування набору базових операцій; формування механізму комбінування базових операцій у алгоритми шифрування; тестування алгоритмів шифрування; формування бази алгоритмів шифрування;

- вибір алгоритму шифрування за ознакою із бази.

Метод псевдодетермінованого гешування передбачає виконання таких дій:

- розбиття повідомлення M на блоки однакової довжини. Якщо довжина повідомлення не кратна довжині блоку даних, то повідомлення доповнюється псевдовипадковою послідовністю бітів;
- визначення вектора ініціалізації h_0 на основі ключа або псевдовипадковим чином (залежно від виду гешування – ключове або безключове, відповідно);
- ітеративна обробка блоків даних відбувається з використанням багатоканального гешування (з q каналами) за формулою:

$$h_i^{(j)} = \left(m_i \ggg u_i^{(j)(m1)} \wedge h_{i-1}^{((j+1) \bmod q)} \ggg u_i^{(j)(h1)} \right) \oplus \left(\sim m_i \ggg u_i^{(j)(m1)} \wedge h_{i-1}^{((j+2) \bmod q)} \ggg u_i^{(j)(h2)} \right) \oplus \left(m_i \ggg u_i^{(j)(m2)} \vee h_{i-1}^{((j+3) \bmod q)} \ggg u_i^{(j)(h3)} \right) \oplus \left(\sim m_i \ggg u_i^{(j)(m2)} \vee h_{i-1}^{((j+4) \bmod q)} \ggg u_i^{(j)(h4)} \right). \quad (1)$$

- формування геш-значення повідомлення шляхом конкатенації вихідних геш-значень, отриманих у кожному з каналів $h = h_i^{(1)} \parallel h_i^{(2)} \parallel \dots \parallel h_i^{(q)}$ по завершенню останньої l -ї ітерації.

Багатоканальність у запропонованому методі гешування необхідна не стільки заради розпаралелення обчислень, скільки заради забезпечення кратності проміжних змінних комірок пам'яті, що еквівалентні складності алгоритму смарт-контракту Ethereum – так званого газу [3, 8].

Оскільки конструкції багатоканального гешування передбачають наявність затримки у поширенні впливу каналів один на одного [10, 13], то у методах псевдодетермінованого необхідно передбачити додаткові ітерації для реалізації поширення впливу проміжних геш-значень, отриманих після обробки останнього блоку повідомлення M , на всі інші канали.

На поширення впливу каналів один на одного одночасно впливають параметри кількості зав'язаних каналів гешування через функцію ущільнення k та кількості каналів гешування, зав'язаних через функцію формування вектора керування ϕ . Отже, кількість ітерацій, на яку відбувається затримка у поширенні впливу каналів один на одного відповідно (1), визначається за такою формулою:

$$\xi = \frac{q}{k + \phi} \quad (2)$$

У роботах [10, 13] обґрунтовано, що збільшення швидкості гешування досягається зав'язуванням каналів за допомогою функції формування вектора керування.

Відповідно найвищу швидкість при фіксованому значенні затримки в поширенні впливу каналів один на одного можна досягти, якщо звести до мінімуму значення параметра гешування k за рахунок збільшення параметра ϕ :

$$\begin{cases} k \rightarrow \min; \\ (k + \phi) = \text{const}. \end{cases} \quad (3)$$

Умова (3) породжує зменшення кількості варіантів багатоканального керуваного гешування, які можуть бути реалізовані на практиці, не кажучи про можливість оптимізації цих параметрів.

Саме тому для гешування в межах смарт-контракту, параметри якого не задовольняють розглянуту вище умову пропонується отримувати вектор керування об'єднанням за допомогою конкатенації проміжних геш-значень в блоки довжиною вектора керування n_v та їх побітове додавання. Таким чином, якщо виконується умова для деяких $a, b \in \mathbb{N}$:

$$\begin{cases} \frac{n_v \cdot q}{n} = a; \\ \text{НСД}(a, \phi) = a; \\ \frac{\phi}{a} = b, \end{cases} \quad (4)$$

Відповідно пропонується функція формування вектора керування, яке полягає у виконанні таких дій:

- об'єднання в блоки аргументів функції формування вектора керування (проміжних геш-значень) за допомогою $(a-1) \cdot b$ конкатенацій;
- виконання хог для отриманих блоків.

Оскільки запропоновані методи не передбачають неприродних для блокчейна операцій, їх програмна реалізація повинна бути алгоритмічно простою.

IV. ТЕОРЕТИЧНІ ОЦІНКИ ШВИДКОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ

Використання визначеного переліку операцій є необхідною умовою для зменшення алгоритмічної складності при реалізації перетворень в блокчейні Ethereum.

Вимірювання кількості операцій, які виконуються Ethereum Virtual Machine (EVM) [8] для реалізації методів гешування, пропонується виконувати за рахунок лічильника операцій виконаних процесором. Конкретна реалізація суттєво залежить від особливостей реалізації Ethereum Virtual Machine (EVM), яка змінюється разом з розвитком блокчейна Ethereum, а тому отримані оцінки будуть змінюватись. Історія редагування документу [3], зафіксована в сервісі github.io підтверджує цю тезу. Саме тому експеримент виконувався незалежно від реалізації EVM за допомогою обчислювальної платформи з одним ядром. У цьому випадку всі канали реалізовуватимуться

одним обчислювачем, а тому різниця у оцінках стане менш залежною від реалізації конкретного вузла блокчейна. У табл. 1 наведено результати експерименту для запропонованого методу гешування.

ТАБЛИЦЯ III. – КІЛЬКІСТЬ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ОПЕРАЦІЙ, НЕОБХІДНИХ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДІВ ГЕШУВАННЯ

Довжина повідомлення, байтів	Методи багатоканального керованого гешування		
	без затримки	із затримкою на 1 ітерацію	із затримкою на 2 ітерації
1	7680	8962	10417
5	7838	9240	10612
10	8153	9495	10845
20	8670	9953	11295
30	9038	10320	11745
50	9720	11010	12450

Окрім параметрів швидкості, наведених у табл.1, необхідно при реалізації звертати увагу на стійкість та коректність програмної реалізації смарт-контракту [7, 14]. Тому авторами запропоновано низку рекомендацій щодо практичної реалізації смарт-контрактів, обґрунтування доцільності, яких наведено у роботах [6, 7, 14]:

- використання шаблонів програмування, які забезпечують масштабованість смарт-контракту
- визначення меж максимально допустимого масштабування смарт-контрактів для запобігання підміни їх основних положень;
- використання лише безпечних шаблонів проектування.

Вищезазначені вимоги пропонується використовувати при проектуванні архітектури смарт-контрактів та програмних інтерфейсів до них.

ВИСНОВКИ

Аналіз стану розвитку технології блокчейн дозволив виявити задачі покращення параметрів кібербезпеки та водночас перспективність її використання для низки суспільно важливих задач. На основі аналізу особливостей організації процесу обробки даних на смарт-контрактах адаптовано концепцію псевдонедетермінованих криптографічних перетворень для технологій блокчейну, зокрема Ethereum та аналогічних йому.

Проведені дослідження дозволили визначити перелік криптографічних примітивів, які можуть використовуватись для синтезу методів псевдонедетермінованого криптографічного перетворення.

Були розроблені методи псевдонедетермінованого шифрування, а також псевдонедетермінованого гешування, які можуть використовуватись для захисту

конфіденційності, цілісності та автентичності даних, які зберігаються за допомогою технології розподіленого реєстру. Наведені оцінки складності алгоритмів дозволив обґрунтувати доцільність їх використання в блокчейні. На основі аналізу шаблонів проектування та прикладних задач, для розв'язку яких запропоновано дані методи, розроблено практичні рекомендації щодо реалізації цих методів

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Szabo N. Formalizing and securing relationships on public networks [Online]. Available: <http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/formalize.html>
- [2] Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System (2008). 9 p. [Online]. Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
- [3] G.Wood Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger Byzantium version 7e819ec - 2019-10-20, 39 p. [Online]. Available: <https://ethereum.github.io/yellowpaper/paper.pdf>
- [4] Introduction to Smart Contracts. [Online]. Available: <https://solidity.readthedocs.io/en/latest/introduction-to-smart-contracts.html>
- [5] Kushch, Sergii & Prieto-Castrillo, Francisco. A review of the applications of the Block-chain technology in smart devices and distributed renewable energy grids. *Advances in Distributed Computing and Artificial Intelligence Journal*. 6. 2017. 77-86.
- [6] Karinsalo, A., & Halunen, K. Smart Contracts for a Mobility-as-a-Service Ecosystem. In *Proceedings - 2018 IEEE 18th International Conference on Software Quality, Reliability, and Security Companion, QRS-C 2018* pp. 135-138.
- [7] L. Xu and others. Enabling the Sharing Economy: Privacy Respecting Contract based on Public Blockchain [Online]. Available: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3055518.3055527>
- [8] Solidity: Language Documentation. [Online]. Available: <https://solidity.readthedocs.io/en/latest/index.html#language-documentation>
- [9] Лужецький В. А., Баришев Ю. В. Концепція псевдонедетермінованого хешування *Системи управління, навігації та зв'язку*. №3. 2010. С. 94-98.
- [10] Баришев Ю. В. Лужецький В. А. Методи та засоби швидкого багатоканального гешування даних в комп'ютерних системах: монографія. Вінниця : ВНТУ, 2016.145 с.
- [11] O. Voitovych, L. Kupershtein, O. Shulyatitska and V. Malyushytskyy, The authentication method in wireless sensor network based on trust model 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kyiv, Ukraine, 2017, pp. 993-997.
- [12] Лужецький В. А., Остапенко А. В. Блочний шифр на основі псевдонедетермінованих послідовностей криптопримітивів *Наукові праці ВНТУ*. № 4 (2010). [Online]. Available: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/234/232>
- [13] Luzhetsky V., Baryshev Y. The Generalized Construction of pseudonondeterministic hashing. *Computing*. Vol. 11 (Issue 3). 2012. p. 302-308.
- [14] Y. Baryshev. Design patterns Security Analysis for blockchain-based applications development with JavaScript and Solidity. *XLVIII Scientific and Technical Conference of the Faculty of Information Technology and Computer Engineering (2019) Vinnytsia*. 3 p. [Online]. Available: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2019/paper/view/7415/6052>

IT Audit Course Development for Cybersecurity Curricula Students Using USA's methodology

Yurii Baryshev
dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
yuriy.baryshev@vntu.edu.ua

Olesia Voitovych
dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
voitovych.olesya@vntu.edu.ua

Розроблення Курсу з ІТ-Аудиту для Студентів Спеціальності Кібербезпека, Використовуючи Методологію США

Юрій Барішев
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
yuriy.baryshev@vntu.edu.ua

Олеся Войтович
кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
voitovych.olesya@vntu.edu.ua

[9].

Abstract — The analysis of cyber security curricula development at USA's universities using one implemented at Purdue University as an instance is performed. Techniques of outcomes and objectives determination as exemplified by cyber security monitoring and audit curriculum are presented. The discipline structure and methodology of current and final assessments development implementation are presented.

Анотація — Представлено аналіз та особливості побудови програми кібербезпеки в університетах США на прикладі Purdue University. Розглянуто методики формування мети та задач дисциплін на прикладі дисциплін з моніторингу та аудиту кібербезпеки. Наведено структуру дисципліни та методику до формування завдань для поточного та підсумкового контролю знань.

Keywords — cyber security, IT audit, course outcome, course objectives, assessments, Bloom's taxonomy.

Ключові слова — кібербезпека, ІТ-аудит, мета дисципліни, задачі дисципліни, контроль знань, класифікація Блума.

I. INTRODUCTION

Teaching cyber security usually means delivering techniques of threats counteraction in fields of networking, software, hardware, social interaction etc while also focusing on best practices and verified methodologies for conducting information processing activity securely. The latter is caused by increased responsibility which is to be faced by cyber security specialists. However, pure striving for the best practices implementation doesn't obviously means actual implementation of them. Moreover people tend to turn a blind eye to their

mistakes even though trying hard not to mention the opposite case. That's why fresh perspective is essential for a cyber security state assessment process. Therefore auditing is to be performed. And in the case of the cyber security field a proper audit can be performed only by cyber security specialists due to vast amount of technical knowledge needed saying nothing of a special mindset that can be gained only by perpetual studying and/or performing job duty in this field. Therefore performing auditing activity is an essential skill for cyber security specialists and it should be taught at the higher education establishments.

One of the most successful and developed educational models according to number of Nobel prizes winners [1] is USA's educational system. Consequently, it should be carefully analyzed and the most impacting factors are to be integrated to Ukrainian educational establishments. Purdue University's cyber security program is considered as one of the USA's most advanced [2]. Therefore its experience should be used at the cyber security course development.

The goal of this research is to improve cyber security curricula by absorbing and adapting the methodology used at Purdue University for the cyber security curricula at Vinnytsia National Technical University starting from cyber security audit course.

To reach the goal the following tasks are to be solved:

- analyze methodology and general view of an educational process comparatively to one used in Ukraine;
- develop and integrate cyber security audit curriculum according to the methodology;

- share the experience among colleagues from other higher education institution.

This work is focused on former three tasks in order to solve the latter one.

II. USA'S METHODOLOGY ANALYSIS

According to the performed analysis of USA's and Ukrainian curricula it was determined, that the major differences in courses designing approach is that USA's approach is more outcome-oriented [3]. It is considered more preferable for student to be competent in tasks solving, than have knowledge of theory, that has no particular application. Therefore the theory is preferable, but not crucial for further materials comprehending, that is why USA's lecturer in case, when the choice must be made between teaching the applied techniques used in practice and a theoretic knowledge allowing students better catch the picture of the field, but not applicable in practice, is more likely to choose the former one, while most of the Ukrainian lecturers would prefer the latter option.

Purdue University applies more student-driven approach for teaching cybersecurity [4] comparatively to the Ukrainian common practice. This provides students ability for practical tasks solving even if they appeared to be not the most determined ones.

Another difference bounded with systematic approach is usage of the following chain at the curriculum development process:

Outcomes → Objectives → Assessments → Activities

The approach provides assessments development straight after objectives, so each and every objective is to be evaluated. Moreover, assessments should be developed bearing in mind Bloom's taxonomy or its modern revised variant [5]. This aids teacher to make more accurate evaluation of student's abilities as well as to design activities, which provide students with complete skill set after their implementation.

III. COURSE STRUCTURE

The developed course according to the methodology is called "Monitoring and audit of cyber security". It is taught as a part of master's training curricula for cyber security students. The course consists of 27 lectures and 27 laboratory classes. The following outcomes of the course were determined:

- justify the need for cyber security audits to stakeholders;
- conduct testing, threat and risk assessments periodically;
- make decisions based on audit standards to counteract cyber security incidents;
- construct or reconstruct information security policy according to audit results, taking into consideration standards and threats.

The outcomes are to be reached through 2 content modules studying. The assessment of students' progress is to be performed through oral colloquiums and laboratory projects review.

The scope of the first content module covers legal and ethics regulation of audit activity, techniques of interaction with stakeholders and the most fundamental cyber security standards. The standards cover the following cyber security related series: COBIT, ISO27k, NIST, PCI DSS, national standards. The second content module focused on reaching the latter two outcomes.

Laboratory classes cover practical aspects of audit performing. They are to be conducted in the groups of 2 of 3 students to help them gain professional interaction and task decomposition skills. At the first class each group chooses object of auditing, cybersecurity of which should be improved according to the NIST's methodology, an audit goal and available budget amount. The scope of laboratory classes covers the following stages: identify, protect, detect, respond and recover. The salt of these classes is that students are to choose (with proper reasoning) the auditing standards by themselves for each of stages according to the object and given audit goals. To aid students each laboratory task includes list of standards with corresponding sections those cover COBIT, ISO27k, NIST, ISA, CCS CSC standards series. After the audit having been finished the improvements of cyber security projects are to be proposed matching available budget limitations.

IV. CONCLUSIONS

Due to globalisation trends higher education establishments should compete far beyond borders of certain country. An integration of the best methodologies is crucial for this process. Presented analysis of USA's methodology allowed to develop course for cybersecurity curricula, which fits Ukrainian legal regulations. Therefore other courses of the curricula are to be improved through this experience.

REFERENCES

- [1] All Nobel Prizes. [Online]. Available: <https://www.nobelprize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes>
- [2] Cybersecurity [Online]. Available: <https://polytechnic.purdue.edu/degrees/cybersecurity>
- [3] Cybersecurity Curricula 2017: Curriculum Guidelines for Post-Secondary Degree Programs in Cybersecurity. A Report in the Computing Curricula Series Joint Task Force on Cybersecurity Education. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/MatthewRosenquist/cybersecurity-curricula-guidelines-for-postsecondary-degree-programs>
- [4] K. Neubauer and others. Teamwork Makes the Dream Work: Purdue's IMPACT Course Transformation Faculty Learning Community. Purdue University Purdue e-Pubs. 2018. [Online]. Available: <https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1036&context=iimpactpres>
- [5] David R. Krathwohl. A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. Theory into Practice, Volume 41, Number 4, 2002. P. 212-218. [Online]. Available: <https://www.depauw.edu/files/resources/krathwohl.pdf>

Захищеність Інформації від Витоку Технічними Каналами для Джерел з Великим Дисбалансом Знаків

Сергій Іванченко
Науково-дослідний центр
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
soivanch@ukr.net

Олег Рушак
Спеціальна кафедра №4
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
oruschak@gmail.com

Анатолій Голішевський
2 науково-дослідний центр
Державний науково-дослідний інститут технологій
кібербезпеки та захисту інформації України
Київ, Україна
380937029549@ukr.net

Василь Некоз
Науково-дослідний центр
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ, Україна
nvs20141987@gmail.com

Protection of Information From Leaks by Technical Channels for Sources With Large Imbalance of Signs

Serhii Ivanchenko
Research Center
Institute for Special Communications and Information
Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
soivanch@ukr.net

Oleh Ryshchak
special department №4
Institute for Special Communications and Information
Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
oruschak@gmail.com

Anatolii Holishevskiy
2 research centers, 2 research departments
State Research Institute of Cyber Defense Technologies and
Information Protection of Ukraine
Kyiv, Ukraine
380937029549@ukr.net

Vasyl Neko
Research Center
Institute for Special Communications and Information
Protection KPI them Igor Sikorsky
Kyiv, Ukraine
nvs20141987@gmail.com

Анотація—Проведено аналіз захищеності інформації від витоку технічними каналами для джерел з великим дисбалансом знаків. Показано ефект впливу зростання вказаного дисбалансу на зниження захищеності інформації та встановлено залежність відповідних показників. Сформульовано проблему захисту інформації при великому дисбалансі знаків джерела та вказано шляхи її вирішення.

Abstract— The analysis of the protection of information from leakage by technical channels for sources with a large imbalance

of signs is carried out. The effect of the growth of the said imbalance on the decrease of information security is shown and the dependence of the respective indicators is established. The problem of information protection with a large imbalance of source signs is formulated and the ways of its solution are indicated..

Ключові—інформаційна безпека; технічний захист інформації; виток інформації; технічний канал витоку

Keywords—informational security; technical protection of information; information leakage; technical channel of leakage

I. ВСТУП

Інформація та інформаційні ресурси, що передбачають використання кіберпростору в Україні, згідно з встановленим в Україні чинним законодавством поділяють на відкриту інформацію та інформацію з обмеженим доступом, яка в свою чергу розрізняється на таємну (державна, банківська, досудового слідства та професійна таємниця), службову та конфіденційну інформації. Це розрізнення здійснюється в залежності від важливості та належності відомостей, часу старіння та інших факторів. Тому актуальність її забезпечення повністю визначається власником інформації, його інтересами, та прийнятих до уваги загроз [1 - 3].

Окремим різновидом інформації, забезпечення якої набуває на сьогоднішній день особливої уваги, є персональні дані [4]. Цьому сприяє, по-перше, високий рівень розвитку комерційної діяльності людства та суттєве збагачення окремих осіб. По-друге, це ствердження правового поля людини та гарантування її прав, що передбачає і гарантування конфіденційності персональних даних. По-третє, це зростання потенційних можливостей перехоплення інформації, що посилює загрозу її витоку, тощо.

Кіберпростір є віртуальним простором, який надає можливість для здійснення комунікацій та/або реалізації суспільних відносин. Він утворюється в результаті функціонування сумісних (з'єднаних) комунікаційних систем та забезпечення електронних комунікацій з використанням мережі Інтернет та/або інших глобальних мереж передачі даних [5]. Це – сучасні інформаційно-телекомунікаційні системи (ІТС), які на даний час мають досить високий рівень розвитку, характеризуються багатифункціональністю, високою швидкістю, автоматизованою самокеруваністю тощо.

Як і будь-які електронні засоби та системи, ІТС під час роботи супроводжуються рядом побічних ефектів, які є паразитними та шкідливими з точки зору безпеки. Цими ефектами є побічні електромагнітні випромінювання та наведення, просочування небезпечних сигналів в ланцюги електроживлення та заземлення, тощо, які утворюють технічні канали витоку (ТКВ) інформації. [6, 7]. Виток інформації є загрозою, які вимагає відповідного забезпечення, обґрунтування захищеності та заходів щодо її забезпечення.

Сучасні ІТС, як правило, є цифровими, а тому в ТКВ вони представляють собою дискретні джерела витку інформації. Носієм же інформації є комбінації дискретних знаків, що використовує алфавіт джерела. Для таких джерел послідовності знаків, як правило, характеризуються нерегулярністю та нерівномірністю розподілу, групуванням в пачки однойменних знаків послідовностей, наявності в них деякої періодичності, тощо. Все це і в певних фрагментах послідовності даних і в цілому на виході джерела витоку може приводити до перевищення одних знаків над іншими – дисбалансу знаків,

який може бути різним та по різному впливати на захищеність інформації.

Таким чином, має місце актуальне завдання щодо обґрунтування захищеності інформації від витоку технічними каналами для джерел з великим дисбалансом знаків

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Як було показано в роботі [8], забезпечення інформації від витоку технічними каналами може здійснюватись шляхом повного та/або частково-достатнього ліквідування причин утворення ТКВ.

Повне ліквідування пов'язане із забезпеченням відсутності небезпечних сигналів в місцях можливого перехоплення та надає можливість досягнення повної гарантії безпеки інформації від витоку технічними каналами. Разом з цим зазначений підхід є складним для реалізації захищених об'єктів. На практиці він вимагає застосування великих територій місцевості – контрольованих зон, забезпечення їх повної автономії в тому числі і по електроживленню, обмеження комунікацій із зовнішнім світом та ін.

Частково-достатнє ліквідування ТКВ суттєвим чином спрощує завдання захисту, адже воно не вимагає виконання умови повної відсутності сигналу на виході каналу. При цьому суттєво меншими стають контрольовані зони об'єктів, можливості їх зовнішнього електроживлення з потрібним фільтруванням небезпечних сигналів, комунікації з іншими об'єктами через комплекси спецз'язку. Разом з цим вимоги щодо засобів захисту визначаються гранично допустимими значеннями показників захищеності в ТКВ, які вимагають належного обґрунтування.

Відповідно до міжнародного досвіду та міжнародних стандартів з інформаційної безпеки, наприклад, серії ISO/IEC 2700x головним показником безпеки, як відомо, є ризик [9 - 11]. Ризик характеризує потенційну можливість небезпеки та є поєднанням імовірності реалізації загрози та наслідків від неї. А тому для обґрунтування захищеності інформації від витоку технічними каналами в технологічній частині реалізації загрози цей показник може розглядатись як імовірність того, що частина відомостей все таки витікатиме технічними каналами. Існування гранично допустимої імовірності ризику p_r визначатиме ту частку відомостей, що допустимо витікатиме, та забезпечуватиме достатність захисту, яка гарантуватиме безпеку. Ця імовірність є вихідним показником для сукупного унормування всіх чинників захисту та їх показників.

Нехай задано гранично допустиму імовірність ризику p_r . Виходячи із викладеного вище, цій імовірності можна поставити у відповідність пропускну здатність каналу, яка характеризує максимум розрахованої на один символ інформації, що може бути переданою каналом. Якщо припустити, що ТКВ є дискретним симетричним каналом без пам'яті, то імовірність ризику p_r забезпечуватиметься імовірністю помилки в каналі p за формулою:

$$p_r = 1 - h(p), \quad (1)$$

де $h(p)$ – ентропійна функція:

$$h(p) = \frac{1}{p} \log_2 \frac{1}{p} + \frac{1}{(1-p)} \log_2 \frac{1}{(1-p)}. \quad (2)$$

Слід зазначити, що реальні канали, тим більше ТКВ не є дискретними симетричним каналами та без пам'яті. Особливо це стосується випадків для джерел витоку з дисбалансом знаків, що розглядається в цій роботі. Однак, процес передачі в каналі є випадковим процесом, а імовірність помилки – показником, який характеризує цей процес в середньому. Оскільки каналом є канал витоку, що розглядається та який потрібно знешкодити (імовірність помилки p буде близькою до 0,5), то така апроксимація є цілком допустимою. В разі дисбалансу знаків x_0 та x_1 на виході джерела, тобто коли їх імовірності будуть нерівними ($p(x_0) \neq p(x_1)$), імовірність помилки визначається в середньому по всім знакам x_r :

$$p = p(x_0)p(y_1/x_0) + p(x_1)p(y_0/x_1). \quad (3)$$

де $p(y_1/x_0)$ та $p(y_0/x_1)$ перехідні ймовірності в каналі;

y_1 та y_0 – знаки на виході каналу.

Перехоплення інформації технічними каналами може здійснюватись в різний спосіб з використанням різної ефективності приймачів. Очевидно, що чим кращий приймач, тим гіршою буде захищеність інформації. Оскільки зловмисник не зацікавлений розкривати свої наміри, а тим більше способи щодо перехоплення, то, як зазвичай, захищеність доцільно обґрунтовувати як для найгіршого випадку, тобто передбачаючи, що перехоплення (прийм) здійснюватиметься найкращим чином. В зв'язку з цим перехідні ймовірності співвідношення (3) можна виразити формулами як для оптимального приймача, побудованого за критерієм Котельникова:

$$p(y_1/x_0) = F\left(-\frac{1}{2}\sqrt{\frac{P_\Delta T}{N_0}} + \frac{1}{2}\sqrt{\frac{N_0}{P_\Delta T}} \ln \frac{p(x_1)}{p(x_0)}\right) \quad (4)$$

та

$$p(y_0/x_1) = F\left(-\frac{1}{2}\sqrt{\frac{P_\Delta T}{N_0}} - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{N_0}{P_\Delta T}} \ln \frac{p(x_1)}{p(x_0)}\right), \quad (5)$$

де P_Δ – потужність різницевого сигналу:

$$P_\Delta = \frac{1}{T} \int_0^T s_\Delta^2(t) dt, \quad (6)$$

$s_\Delta(t)$ – різницевий сигнал:

$$s_\Delta(t) = s_1(t) - s_0(t), \quad (7)$$

$F(x)$ – інтеграл Лапласа. Знаходиться з довідника:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left\{-\frac{\eta^2}{2}\right\} d\eta. \quad (8)$$

У формулах (4) та (5) складова $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{P_\Delta T}{N_0}} = \delta$ є відношенням сигнал/завада на вході оптимального

(найкращого) приймача перехоплення. Так для кожної величини δ та значень ймовірностей $p(x_0)$ та $p(x_1)$, що характеризують дисбаланс знаків на виході джерела, за формулою (3) у сукупності з (4) та (5) можна розрахувати імовірність помилки p та за формулою (1) у сукупності з (2) – імовірність ризику безпеки.

Слід зазначити, що використані співвідношення встановлюють точний зв'язок поміж показниками, що характеризують захищеність інформації:

$$\delta \rightarrow p \rightarrow C \rightarrow p_r. \quad (9)$$

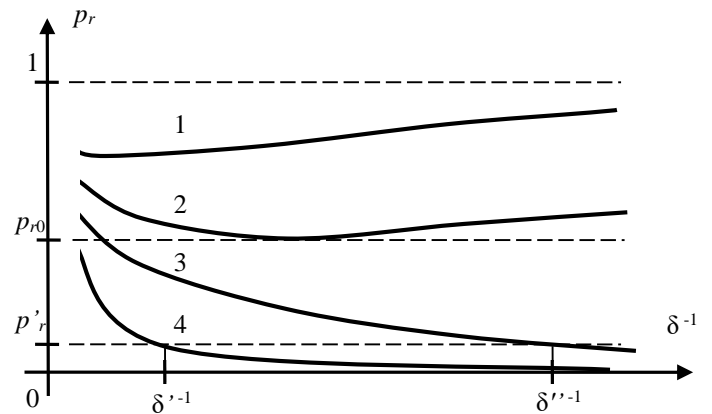
А тому вони можуть бути використаними і для розрахунку їх гранично допустимих значень.

Однак, при цьому виникає проблема, сутність якої полягає в наступному:

1) при великому дисбалансі знаків зі збільшенням завади над сигналом ризик безпеки зменшується (захищеність зростає) до певної величини $p_{r0} > 0$, а потім збільшується (захищеність спадає);

2) при дуже великому дисбалансі знаків з'являється ефект «посилення» ризику завадою, тобто зі збільшенням завади над сигналом ризик безпеки взагалі збільшується а захищеність спадає.

Графічно зазначене виглядає як показано на рис.1:



Дисбаланси знаків:

- 1) дуже великий дисбаланс: $p(x_0) \gg p(x_1)$;
- 2) великий дисбаланс: $p(x_0) > p(x_1)$;
- 3) помірний дисбаланс: $p(x_0) \approx p(x_1)$;
- 4) відсутній дисбаланс $p(x_0) = p(x_1)$.

Рис. 1. Графік залежностей імовірності ризику від відношення завада/сигнал для різних дисбалансів знаків

Як видно з графіку на рис.1 для невеликого дисбалансу знаків (2) мінімум досяжної імовірності ризику p_{r0} може значно перевищувати та не досягнути гранично допустимого значення p'_r . При великому ж дисбалансі (1) цей мінімум досяжності ризику взагалі практично відсутній. А це означає, що при збільшенні дисбалансу знаків за будь-якого відношення сигнал/завада інформація

не може бути захищеною на основі представленого в цій роботі обґрунтування захищеності.

Шляхами щодо вирішення зазначеної проблеми є:

3) використання методів збалансування знаків при обробці інформації в ІТС;

4) використання інших підходів з обґрунтування захищеності: повного ліквідування ТКВ або їх знешкодження з практичним обґрунтуванням захищеності відносно існуючих засобів перехоплення, тощо.

III. ВИСНОВКИ

Таким чином, проведено аналіз захищеності інформації від витоку технічними каналами для джерел з великим дисбалансом знаків. Він базується на використанні імовірності ризику як головного показника інформаційної безпеки відповідно до сучасних міжнародних стандартів. Використано аналітичні зв'язки імовірності ризику з кількісними показниками, що характеризують захищеність інформації від витоку.

Показано ефект впливу зростання дисбалансу знаків на виході джерела на зниження захищеності інформації та встановлено залежність відповідних показників. Сформульовано проблему захисту інформації за цієї умови. Її сутність полягає в тому, що при великому дисбалансі знаків зі збільшенням завади над сигналом ризик безпеки зменшується (захищеність зростає) до певної величини, а потім збільшується (захищеність спадає); при дуже великому дисбалансі знаків з'являється ефект «посилення» ризику завадою, тобто зі збільшенням завади над сигналом ризик безпеки взагалі збільшується а захищеність спадає.

Вказано шляхи обґрунтування захищеності інформації від витоку технічними каналами для джерел з великим дисбалансом знаків. Ними є використання в ІТС методів збалансування знаків при обробці інформації в ІТС або інших підходів з обґрунтування захищеності: повного ліквідування ТКВ або їх знешкодження з практичним обґрунтуванням захищеності відносно існуючих засобів перехоплення, тощо.

Застосування цих підходів для джерел з великим дисбалансом знаків надасть можливість обґрунтування захищеності інформації від витоку технічними каналами з доведеною гарантією достовірності.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Закон України «Про інформацію» (1992р.)
- [2] Закон України «Про державну таємницю» (1994р.)
- [3] Закон України «Про доступ до публічної інформації» (2011р.)
- [4] Закон України «Про захист персональних даних» (2010р.)
- [5] Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» (2018р.)
- [6] Ленков С.В. Методы и средства защиты информации. Том I. Несанкционированное получение информации / С.В. Ленков, Д.А. Перегудов, В.А. Хорошко – К.:Арий, 2008. – 464 с.
- [7] Kuhn G. Compromising emanations: eavesdropping risks of computer displays. This technical report is based on a dissertation submitted June 2002 by the author for the degree of Doctor of Philosophy to the University of Cambridge, Wolfson College. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports>.
- [8] Іванченко С. О. Обґрунтування захищеності інформації від витоку технічними каналами для сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем/ Сергій Олександрович Іванченко, Олег Андрійович Рушак, Олександр Олександрович Пучков, Анатолій Васильович Голішевський // Міжнародна науково-практична конференція “Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання – 2019”, м. Івано-Франківськ, 20 – 25 травня 2019 р., Тези доповідей (Матеріали статей -366 с.). – Івано-Франківськ: п. Голіней О.М., 2019. – С 179 – 185. ISBN 978-617-7468-37-9
- [9] Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements [ISO/IEC 27001:2013].
- [10] Іванченко С. О. Основні джерела технічних каналів витоку інформації та обґрунтування ризику щодо їх убезпечення / Сергій Олександрович Іванченко, Олександр Олександрович Пучков, Євген Володимирович Пелешок, Василь Сергійович Некоз // Міжнародна науково-практична конференція “Інтелектуальні системи та інформаційні технології – 2019”, м. Одеса, 19 – 24 серпня 2019 р., Тези доповідей (Матеріали статей -260 с.). – Одеса: ТЕС, 2019. – С 71 – 76. ISBN 978-617-7711-43-7
- [11] Іванченко С.О. Обґрунтування ризику безпеки інформації щодо її захищеності від витоку технічними каналами / Сергій Олександрович Іванченко // Науково-технічний збірник "Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні". – Київ, НТУУ "КПІ" НДЦ "Тезис", 2016. – № 1 (31) – С. 9 – 13.

Зведення Аналізу Сімейства Твікових Блокових Шифрів до Обчислення Диференціальних Властивостей Внутрішнього Блокового Шифру

Ігор Ломаченко
Фізико-технічний інститут
Національний технічний університет України
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"
Київ, Україна
hvn4hvn@gmail.com

Reducing the Analysis of Family of Tweakable Block Ciphers to Computing Differential Properties of Inner Block Cipher

Igor Lomachenko
Institute of Physics and Technology
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Kyiv, Ukraine
hvn4hvn@gmail.com

Анотація — Lei Ван та Цзянь Гуо представили параметризовану схему твікового шифрування, яка досягає доказової оцінки стійкості до атак розпізнавання у 2^n запитів до шифру, що перевищує границю оцінки стійкості $2^{n/2}$, що отримується з парадоксу днів народження. Такі оцінки були отримані в моделі ідеального внутрішнього блокового шифру. В даній роботі ми розглянемо диференціальний криптоаналіз та його застосування до даної твікової схеми шифрування без фіксації її параметрів. Головним результатом роботи є співвідношення, яке показує, що розподіл диференціальних ймовірностей усіх реалізацій схеми співпадає з розподілом диференціальних ймовірностей внутрішнього блокового шифру. Таким чином, обчислення диференціальних ймовірностей внутрішнього шифру дає оцінки стійкості до диференціального криптоаналізу усіх реалізацій схеми з різними значеннями параметрів.

Abstract — Lei Wang and Jian Guo have introduced parameterized tweakable encryption scheme. They demonstrated their scheme to achieve a provable security against distinguishing attacks up to 2^n adversarial queries, bypassing the birthday-bound barrier of $2^{n/2}$ security. These estimations are obtained in the ideal block cipher model. In this work we consider differential cryptanalysis and its application to mentioned tweakable scheme with unspecified parameters. The main result of this works is the final equation, from which we can conclude that distribution of differential probabilities for all instances of the scheme matches the distribution of differential probabilities of internal block cipher. Therefore, calculation of differential probabilities of

internal cipher gives the estimation of security against differential cryptanalysis for all instances of the scheme.

Ключові слова — диференціальний криптоаналіз; блоковий шифр; схема твікового шифрування

Keywords — differential cryptanalysis; block cipher; tweakable cipher scheme

I. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КЛАСИЧНИЙ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИЙ КРИПТОАНАЛІЗ

Як відомо, диференціальний криптоаналіз [1] є одним з найпотужніший сучасних методів побудови атак на блокові шифри та відповідного дослідження їх стійкості, диференціальних властивостей, тощо.

Метою зловмисника є отримання певної інформації про секретний (невідомий йому) ключ, який не змінюється на протязі всієї атаки. Такою інформацією можуть бути окремі біти ключа (окремого раундового або майстер-ключа) чи певні залежності між бітами. Але зазвичай метою атаки є повне відновлення ключа останнього раунду, що в свою чергу дасть змогу відновити ключі всіх попередніх раундів на основі схеми ключового розкладу або ітеративного проведення аналогічної атаки на останній невідомий ключ.

Оскільки диференціальний криптоаналіз в своєму класичному вигляді є надзвичайно потужним інструментом дослідження блокових шифрів, перенесення подібних підходів та методик на більш загальний клас шифрів, а саме, твікових шифрів, є досить актуальною задачею. Однак перехід від класичних шифрів до твікових змушує переглянути підходи до застосування методів диференціального криптоаналізу та підняти їх на більш загальний рівень. Таким чином, необхідно розглянути загальноприйняті вимоги та домовленості стосовно класичного диференціального криптоаналізу, а також сформулювати подібні для диференціального аналізу твікових шифрів (далі твікового ДКА), що формалізує умови подальшої роботи.

II. ФОРМАЛЬНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ШИФРУ

Класичні блокові шифри можна представити у вигляді $M \times K \rightarrow C$, де M – множина відкритих текстів, K – множина ключів, C – множина шифртекстів.

Твіковий шифр використовує додаткове параметричне значення (твік), що вносить різноманіття в процес шифрування. Представлення твікового шифру, в такому разі, буде виглядати як $M \times K \times T \rightarrow C$, де M, K, C – аналогічні, а T – множина твіків.

Варто зауважити, що не зважаючи на використання твіку шляхом, подібним до використання ключа, в загальному випадку множина T може не співпадати з жодною з множин M, K, C . Однак в більшості схем твікового шифрування, що не використовують додаткові фреймворки для обробки ключів та твіків (такі як TWEAKEY [2] та йому подібні), сама конструкція схеми зумовлює рівність множин K та T .

III. МОДЕЛЬ ЗЛОВМИСНИКА

Модель зловмисника в диференціальному криптоаналізі передбачає можливість криптоаналітика довільним чином обирати та шифрувати відкриті тексти у будь-яких кількостях. В той же час, процес шифрування всіх цих текстів відбувається на основі одного й того ж самого секретного ключа, який не змінюється протягом атаки. Встановлення цього ключа, в загальному випадку, і є головною метою зловмисника.

При переході до твікових шифрів наведеній моделі відповідають одразу декілька твікових моделей.

1) Зловмисник знає твік, який є константним на протязі всієї атаки.

2) Твік постійно змінюється випадковим чином на протязі атаки. Усі значення твіків відомі зловмиснику.

3) Зловмисник оперує твіками так само, як і відкритими текстами, змінюючи або залишаючи їх за своїм бажанням.

В усіх цих моделях за зловмисником зберігається здатність маніпулювати відкритими текстами за своїм бажанням. Нагадаємо також, що твікове значення є відкритою інформацією в рамках шифрування та відоме усім.

З точки зору диференціального криптоаналізу, цікавість викликають моделі 1 та 3. Модель 3 використовується для побудови так званих Tweak-related атак, що базуються на маніпуляціях твіками. Модель 1 більш схожа на ту, що використовується в класичному диференціальному криптоаналізі. Достатньо лише розглянути замішування твіку як деяке параметризоване перетворення з відомим значенням параметра.

Модель 1 є зручною у використанні також з тієї причини, що майже вся теорія диференціального криптоаналізу переноситься на твіковий ДКА з деякими невеличкими формальними уточненнями.

IV. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ СХЕМИ ТВІКОВОГО ШИФРУВАННЯ, ЗАПРОПОНОВАНОЇ ВАНЕМ ТА ГУО

Найбільш прийнятним способом побудови схеми твікового шифрування є побудова на основі наявного шифру з використанням певного існуючого фреймворку або проектуванням нового. Виходячи з цього, при розробці схеми твікового шифрування одним з першочергових завдань є дослідження новоутвореної схеми у моделі 1 на предмет збереження вразливостей, притаманних «утворюючому» шифру.

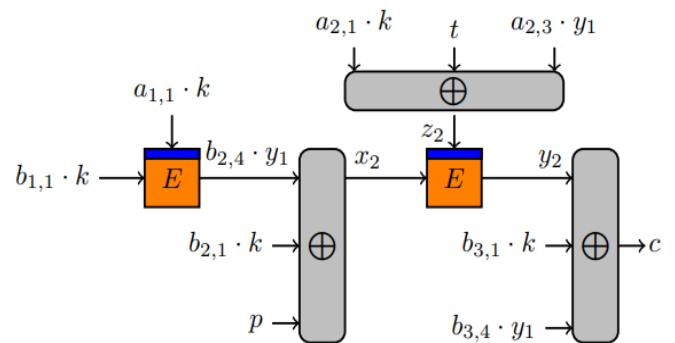


Рис. 1. Узагальнена схема твікового шифрування, запропонована Ванем та Гуо [3]

На рис. 1 зображено узагальнену схему твікового шифрування, що була запропонована Ванем та Гуо. Значення $a_{*,*}, b_{*,*} \in \{0,1\}$ – параметри, \oplus – операція XOR, E – виклик внутрішнього шифру. Для даної схеми було отримано доказову оцінку стійкості до атак розпізнавання у 2^n запитів зловмисника до шифру [3], за умови, що внутрішній шифр є ідеальним. Схема складається умовно з двох частин:

- 1) Обчислення значень y_1 та x_2 ;
- 2) Обчислення значень y_2 та c .

Розглянемо дану схему з точки зору диференціального криптоаналізу та зловмисника, який відповідає моделі 1. Значення твіку t є відомим та константним. Значення ключа є невідомим, але константним. Подамо на вхід схеми два відкриті тексти p і $p' = p \oplus \alpha$. Виходячи з твердження про константність ключа та твіку, значення y_1 та y_1' повністю співпадають, $b_{2,1} * k$ та $b_{2,1} * k'$ співпадають, p та p'

відрізняються на відому фіксовану величину. Таким чином, значення x_2 та x_2' також відрізняються на ту саму величину.

Вираз z_2 , що представляє собою $a_{2,1} * k \oplus t \oplus a_{2,3} * y$ є в загальному випадку невідомим, але фіксованим, тобто, $z_2 = z_2'$.

Шифротекст c обчислюється як $y_2 \oplus b_{3,1} * k \oplus b_{3,4} * y_1$ та безпосередньо залежить від значення x_2 , що шифрується на ключі z_2 .

Опишемо шлях перетворення пари відкритих текстів p та p' у пару закритих текстів c та c' за допомогою рівнянь:

$$\begin{aligned} y_1 &= E_{a_{1,1} * k}(b_{1,1} * k), \\ x_2 &= b_{2,4} * y_1 \oplus b_{2,1} * k \oplus p, \\ z_2 &= a_{2,1} * k \oplus t \oplus a_{2,3} * y_1, \\ y_2 &= E_{z_2}(x_2), \\ c &= y_2 \oplus b_{3,1} * k \oplus b_{3,4} * y_1. \end{aligned}$$

Тоді пара текстів $(p, p') = (p, p \oplus \alpha)$ після обчислення x_2 переходить в

$$\begin{aligned} &(b_{2,4} * y_1 \oplus b_{2,1} * k \oplus p, b_{2,4} * y_1 \oplus b_{2,1} * k \oplus p') = \\ &= (b_{2,4} * y_1 \oplus b_{2,1} * k \oplus p, b_{2,4} * y_1 \oplus b_{2,1} * k \oplus p \oplus \alpha). \end{aligned}$$

Перепозначимо це як $(p_1, p_1 \oplus \alpha)$.

Після проходження через шифр E пара перетворюється на

$$\begin{aligned} (y_2, y_2') &= (E_{z_2}(p_1), E_{z_2}(p_1 \oplus \alpha)) = \\ &= (E_{z_2}(p_1), E_{z_2}(p_1 \oplus \alpha)). \end{aligned}$$

Остаточне значення шифротекстів отримується як

$$\begin{aligned} (c, c') &= (E_{z_2}(p_1) \oplus b_{3,1} * k \oplus b_{3,4} * y_1, E_{z_2}(p_1 \oplus \alpha) \oplus \\ &\oplus b_{3,1} * k \oplus b_{3,4} * y_1'). \end{aligned}$$

Таким чином, в процесі шифрування пара відкритих текстів з різницею $p \oplus p \oplus \alpha = \alpha$ переходить в пару шифр текстів з різницею

$$\begin{aligned} E_{z_2}(p_1) \oplus b_{3,1} * k \oplus b_{3,4} * y_1 \oplus E_{z_2}(p_1 \oplus \alpha) \oplus b_{3,1} * k \oplus b_{3,4} * \\ * y_1 = E_{z_2}(p_1) \oplus E_{z_2}(p_1 \oplus \alpha). \end{aligned}$$

З цього випливає, що

$$\forall x, \alpha \exists y :$$

$$E_{схеми}^k(x) \oplus E_{схеми}^k(x \oplus \alpha) = E_{вн.шифру}^{k'}(x) \oplus E_{вн.шифру}^{k'}(x \oplus \alpha)$$

де k' обчислюється з ключа k .

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що розподіл диференціальних імовірностей для усіх часткових випадків схеми співпадає з розподілом диференціальних імовірностей внутрішнього шифру. Таким чином, обчислення диференціальних імовірностей внутрішнього шифру дає оцінки стійкості усієї схеми до диференціального криптоаналізу, незалежно від обраних параметрів.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто схему твікового шифрування, запропоновану Ванем та Гуо, з точки зору диференціального криптоаналізу, отримано співвідношення між різницями шифротекстів схеми та різницями шифротекстів внутрішнього шифру.

Було показано, що, незалежно від параметричних значень, усі реалізації схеми мають однакові імовірності диференціалів, які не залежать від параметрів схеми, а визначаються лише внутрішнім шифром.

Оцінка стійкості усієї схеми до диференціального криптоаналізу зводиться до обчислення диференціальних імовірностей внутрішнього шифру.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] E. Biham, A. Shamir, "Differential cryptanalysis of DES-like cryptosystems" [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/BF00630563>
- [2] J. Jean, I. Nikolić and T. Peyrin, "Tweaks and Keys for Block Ciphers: the TWEAKEY Framework," IACR Cryptology ePrint Archive, 2014 [Online]. Available: <https://eprint.iacr.org/2014/831.pdf>
- [3] L. Wang, J. Guo, "How to Build Fully Secure Tweakable Blockciphers from Classical Blockciphers," IACR Cryptology ePrint Archive, 2016 [Online]. Available: <https://eprint.iacr.org/2016/876.pdf>.

Використання Системного Підходу до Дослідження Систем Управління Інформаційною Безпекою

Володимир Мохор
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.С. Пухова НАН України
Київ, Україна
v.mokhor@gmail.com

Василь Цуркан
Інститут проблем моделювання в енергетиці
ім. Г.С. Пухова НАН України
Київ, Україна
v.v.tsurkan@gmail.com

Ярослав Дорогий
кафедра автоматики та управління в технічних системах
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
argusyk@gmail.com

Using a System Approach to the Research of Information Security Management Systems

Volodymyr Mokhor
Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering
of National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
v.mokhor@gmail.com

Vasyl Tsurkan
Pukhov Institute for Modelling in Energy Engineering
of National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
v.v.tsurkan@gmail.com

Yaroslav Dorohyi
Department of Automation and Control in Technical Systems
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”
Kyiv, Ukraine
argusyk@gmail.com

Анотація — Розглянуто використання системного підходу до дослідження систем управління інформаційною безпекою в організаціях як цілісних об'єктів. Формалізовано можливості означених систем та представлено їх ієрархію функцій. Завдяки цьому специфіковано вимоги до систем управління інформаційною безпекою. Відповідно до специфікованих вимог виокремлено структурні елементи як модульні одиниці. Кожним з них відображено як структурні, так і поведінкові особливості представлення систем управління інформаційною безпекою. Їх набір, різновиди співвідношень між ними і способи поєднання визначено відповідно до конкретної організації. Водночас цими особливостями враховано інтереси з боку внутрішніх і зовнішніх зацікавлених сторін.

Abstract — The use of a system approach to the research of information security management systems as a holistic object is considered. The possibilities of the specified systems are

formalized and represented by their hierarchy of functions. Due to this, the requirements for the information security management systems are specified. According to the specified requirements, structural elements are distinguished as modular units. Each of them reflects both structural and behavioral features of the information security management systems. Their set, the types of relationships between them and ways of combining are determined by the specific organization. At the same time, these features take into account the interests of internal and external stakeholders.

Ключові слова — Системний підхід; системні дослідження; система управління інформаційною безпекою; кібербезпека

Keywords — Systematic approach, systems research; information security management system; cybersecurity

I. ВСТУП

Організаціями використовується кіберпростір як середовище отримання і розповсюдження інформації. Тож для формування позитивного іміджу про себе розширяється сфера відповідальності, а також гарантується безризиковість діяльності в кіберпросторі. Тому проактивним фактором забезпечення кібербезпеки є розроблення і впровадження систем управління інформаційною безпекою і, як наслідок, гарантованість аналізування, атестування, оброблення і контролювання ризиків [1], [2].

За системним підходом системи управління інформаційною безпекою розглядається як цілісні об'єкти. Це дозволяє з одного боку врахувати багатоаспектність їх системних досліджень. Тоді як з іншого виокремити елементи систем управління інформаційною безпекою та, як наслідок, встановити між ними структурні та функціональні зв'язки [3], [4].

II. СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ БЕЗПЕКОЮ

Термінологічною основою розроблення і впровадження систем управління інформаційною безпекою є терміни і визначення відповідно до стандарту ДСТУ ISO/IEC 27000. Його положення доповнюються термінами стосовно ризику та управління ризиками загалом за положеннями ДСТУ ISO Guide 73. Співвідношення між термінами на основі серії стандартів ISO/IEC 27k відображаються онтологією.

Діяльність із управління інформаційною безпекою розглядається як функція верхнього рівня у графічній нотатції IDEF0. Стосовно неї виокремлюються вхідні та вихідні дані. Управління інформаційною безпекою обмежується зовнішніми та внутрішніми обставинами організації; вимогами зацікавлених сторін, а також інтерфейсами та залежностями між діями в організації. Механізмами розглядаються внутрішні та зовнішні зацікавлені сторони, метод оцінювання ризику інформаційної безпеки; виклик (наприклад, система управління приватною інформацією).

На основі ієрархії функцій специфікуються вимоги до систем управління інформаційною безпекою. Для цього використовується відповідна діаграма у графічній нотатції SysML [2], [4], [5]. Нею відображаються як вимоги, так і співвідношення між ними. Завдяки цьому встановлюється відповідність з елементами описання архітектури систем управління інформаційною безпекою [4]. Як наслідок, враховуються інтереси зацікавлених сторін, зокрема, стосовно належності оброблення ризиків в організації [2].

Виокремлення структурних елементів як модульних одиниць орієнтоване на описання систем управління інформаційною безпекою. Деревом модульних компонентів. Їх набір, різновиди співвідношень між ними і способи поєднання визначаються конкретною організацією, інтересами зацікавлених сторін. Особливості представлення блоків і співвідношень між ними відображаються діаграмою структури – визначення блоків

[2], [5]. Це дозволяє розглядати кожен з блоків, наприклад, через властивості, операції, співвідношення. Структура блоків систем управління інформаційною безпекою визначається діаграмою структури – внутрішніх блоків [2], [5]. Нею відображаються їх властивості та з'єднання між ними. Розглянуто чотири загальних різновиди властивостей: частини, посилення, властивості значення, властивості обмеження. Як окремий різновид властивостей виокремлено порти, якими відображаються з'єднання і взаємодія систем зі зовнішніми об'єктами.

Варіантами використання показано межі функціональності, функціональна поведінка систем управління інформаційною безпекою [2], [4]. Окрема увага приділяється екторам, а також встановленню відношень між ними і варіантами використання [5]. Особливості поведінки систем управління інформаційною безпекою у часі представляються послідовністю. Цим враховується передавання і приймання повідомлень між її елементами [5]. Повідомлення передаються (приймаються) стосовно ліній життя і представляють окрему взаємодію між ними. З огляду на це, основою діяльності є послідовність дій з управління інформаційною безпекою і умов їх виконання [2]. Дія розглядається як елементарна одиниця діяльності. Нею координується використання вузлів управління. Зокрема, рішення стосовно необхідності оброблення та зіставлення залишкового ризику зі заданою прийнятною оцінкою. Кінцевим автоматом моделюється поведінка систем управління інформаційною безпекою шляхом послідовного проходження її станами [2], [5]. Їх інваріантом визначається істинність умов для поточного стану. Зміна одного стану на інший моделюється переходом, який спрацьовує при настанні визначених подій. Тоді як подією специфікуються умови змін станів [5].

ВИСНОВОК

Отже, використання системного підходу дозволяє досліджувати системи управління інформаційною безпекою як цілісні об'єкти. Побудувати ієрархію їх функцій і специфікувати вимоги до них. Завдяки цьому виокремити елементи даних систем і встановити зв'язки між ними.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Державне підприємство “Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості”. (2018, Січ. 01). *ДСТУ ISO/IEC 27032:2016, Інформаційні технології. Методи захисту. Наставови щодо кібербезпеки (ISO/IEC 27032:2012, IDT)*. Київ, 2018, 50 с.
- [2] Державне підприємство “Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості”. (2015, Груд. 18). *ДСТУ ISO/IEC 27001:2015. Інформаційні технології. Методи захисту системи управління інформаційною безпекою. Вимоги (ISO/IEC 27001:2013; Cor 1:2014, IDT)*. Київ, 2016, 29 с.
- [3] М.З.Згуровский, и Н.Д. Панкратова, *Системный анализ: проблемы, методология, применение*. Киев, Украина: Наукова думка, 2005.
- [4] В.В. Мохор, В.В. Цуркан, та О.О. Бакалинський, “Архітектура системи управління інформаційною безпекою”, на *XX Ювілейній міжнародній науково-практичній конференції Безпека інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах*, Київ, 2018, с. 38.
- [5] SysML Open Source Project. [Online]. Available: <https://sysml.org/>. Accessed on: Apr. 19, 2020.

Аналіз Методів Захисту від XSS Атак

Олександр Печенюк

Кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний Університет
Вінниця, Україна
refresher0304@gmail.com

Леонід Куперштейн

Кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
kupershtein.lm@gmail.com

Олеся Войтович

Кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
voytovych.op@gmail.com

В'ячеслав Бондарчук

Кафедра захисту інформації
Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна
somemain@gmail.com

XSS ATTACK PROTECTION METHODS ANALYSIS

Olexandr Pecheniuk

Dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
refresher0304@gmail.com

Olesia Voitovych

Dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
voytovych.op@gmail.com

Leonid Kuperstein

Dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
kupershtein.lm@gmail.com

Viacheslav Bondarchuk

Dept. of Information Protection
Vinnytsia National Technical University
Vinnytsia, Ukraine
slava.777.bondarchuk@outlook.com

Анотація - Дослідження присвячене аналізу основних методів захисту від XSS атак. Наведено та охарактеризовано основні типи міжсайтового скриптингу, які використовуються на сьогоднішній день. Також розглянуто та наведено детальний опис основних методик та правил захисту веб-додатку від XSS атак, а також вказані основні вразливості веб-сайтів до атак даного типу.

Abstract - This research is dedicated to analysis of main security management methods against XSS attacks. Most used types of cross-site scripting are given and characterized. Main methods and rules of security of web-application against XSS attacks were described in details as well as most noticeable vulnerabilities are considered.

Ключові слова: *теги, веб-додаток, JavaScript, міжсайтовий скриптинг, HTML, CSS.*

Keywords: *tags, web-application, JavaScript, Cross Site Scripting, HTML, CSS.*

I. ВСТУП

Сьогодні все більше набирає популярність JavaScript, яка є одним з основних інструментів для розробки веб-додатків. Щоправда розповсюдження цієї мови програмування також викликає проблему вразливості веб-сайтів до атак типу XSS. У 2019 році атака даного типу була визнана найпоширенішою у світі, вона була використана у 39% кібератак [1]. Тому безперечно вивчення та аналіз методів захисту від даного типу атак є надзвичайно актуальним на даний момент.

Однією з основних цілей атак даного типу є крадіжка cookie користувача різноманітними способами для отримання ключової для атакуючого інформації. Зловмисник здійснює атаку не напряму, а за допомогою вразливостей веб-сайту впроваджуючи свій спеціальний JavaScript код.

Аналізуючи методи проведення атак даного типу можна визначити перші кроки у спробі захистити веб-додаток від даної загрози.

II. Типи XSS

Для аналізу основних методів захисту від XSS атак є необхідним розглянути типи виконання міжсайтового скриптингу. Хоча з плином часу можуть бути знайдені нові види атак на даний момент в загальному виділяють три основних категорії XSS за напрямком дії [2]:

- відбиті (Reflected Cross-Site Scripting);
- збережені (Stored Cross-Site Scripting);
- на основі DOM-моделі (DOM based Cross-Site Scripting).

Reflected XSS – найпоширеніший тип міжсайтового скриптингу. Даний тип атак орієнтується на вразливості, які виникають на деяких веб-сайтах, коли дані, що подаються клієнтом, негайно обробляються сервером для отримання результатів потім відправляються назад у браузер клієнта [3]. Найпоширеніший спосіб використання цієї вразливості це використання невірної URL адреси, яка буде містити змінні з шкідливим кодом, а отже навіть використання ім'я користувача сервером для привітання може стати вразливістю, яку можуть використати для даного типу міжсайтового скриптингу.

Stored XSS також відомий як HTML-ін'єкція, яка головним чином використовує збереження даних, які були відправлені на сервер (зазвичай у базі даних) для застосування шкідливого коду на сторінці, який буде використаний пізніше. Ця форма XSS може вражати будь-якого відвідувача сайту. Класичний приклад цього різновиду атаки є форуми, де користувачам дозволено використовувати необроблений HTML та XHTML для форматування їхніх постів.

DOM-based XSS це підвид Reflected XSS, де помилки в логіці JavaScript та необережне використання даних призводять до створення вразливостей, які дадуть змогу зловмисникам виконати атаку. Цей вид атак є особливо небезпечним адже, якщо при тестуванні на звичайний XSS вразливостей виявлено не було, додаток може все ще бути незахищеним від DOM-based XSS атак.

III. ОСНОВНІ МЕТОДИ БОРОТЬБИ З XSS

Першим чином необхідно максимально обмежити можливість користувача вводити дані на сайті [4]. Заборонивши введення даних користувачем, або обмеживши певні символи при вводі можна захистити веб-додаток від зловмисників. Як приклад, можна навести заборону введення символів «<», «>» (елементів html-тегів), що допоможе уникнути виникнення XSS вразливості.

Якщо ж повністю заборонити введення даних користувачем неможливо для веб-сайту, варто використати перевірку введення. Такий метод частіше використовується для запобігання іншому типу атак, а саме SQL ін'єкції [5], проте може бути використаний і для захисту від XSS атак. Даний метод передбачає внесення у чорний список усіх команд які можуть нанести шкоду та у білий список усіх дозволених команд. Даний метод є особливо корисним при захисті від атак веб-додатків які виступають формами, так як він запобігає додаванню

спеціальних символів у поля, забороняючи даний запит.

Перейдемо до більш детального розгляду основних методів та правил захисту від XSS атак [6].

1) Заборона введення даних в тіло HTML документа, наприклад усередину тегів div, p, b, td, тощо. Уникайте використання наступних символів за допомогою кодування сутностей HTML для запобігання переходу зловмисника у будь-який інший контекст, такий як script, style, handlers [7]. У даному випадку доцільно використання шістнадцяткових сутностей:

&	➡	&
<	➡	<
>	➡	>
"	➡	"
'	➡	'
/	➡	/

Більшість мережевих фреймворків мають метод уникнення використання символів наведених вище, однак цього недостатньо для інших контекстів HTML, тому дотримання усіх інших правил наведених нижче є необхідним для безпеки веб-додатку.

2) Заборона введення недовірених даних в поля атрибутів ширини (width), ім'я (name), значення (value), тощо. Проте це не стосується комплексних атрибутів таких як href, src, style, або будь-яких обробників подій як onmouseover. Окрім буквенно-цифрових символів слід заборонити усі символи із значенням ASCII меншим за 256 [8] для запобігання виходу з атрибута. Вихід з атрибута може бути здійснений за допомогою багатьох символів, зокрема: %, *, +, -, /, ;, <, =, >, ^.

3) Заборона введення недовірених даних у поля CSS або теги стилю. Як не дивно CSS також може бути використаний для атаки типу XSS. Слід запобігати використанню усіх буквенно-цифрових та символів з кодом ASCII менше 256. Окрім того тег <style> закрий блок стилю навіть, якщо він знаходиться в середині стрічки в лапках, оскільки аналізатор HTML запускається перед синтаксичним аналізатором JavaScript [9]. Тому рекомендовано використання агресивного кодування та перевірки CSS для запобігання XSS для атрибутів у лапках та без лапок.

4) Відмова від JavaScript URL. Ненадійні URL-адреси, що включають протокол javascript: виконуватимуть код JavaScript при використанні в URL-адресах DOM URL-адреси, таких як атрибуту тега HREF або розташування src iFrame. Потрібно перевірити всі ненадійні URL-адреси, щоб вони містили лише довірені протоколи, такі як HTTPS.

5) Запровадження політики безпеки контенту (Content Security Policy) [7]. Це механізм із боку веб-переглядача, який дозволяє створювати вихідні списки джерел для клієнтських ресурсів веб-програми, наприклад, JavaScript, CSS, зображення тощо. CSP за допомогою спеціального заголовка HTTP вказує веб-переглядачу виконувати або видавати ресурси лише з цих джерел.

6) Додатково можна використовувати X-XSS Protection Response Header - заголовоку HTTP- відповіді, який вмикає фільтр міжсайтового скриптингу (XSS) [9]. Він вбудований

у деякі сучасні веб-браузери. Цей заголовок, як правило, увімкнено за замовчуванням, тому його роль полягає у повторному включенні фільтра для конкретного веб-сайту, якщо його було відключено користувачем. Проте Firefox ніколи не підтримував X-XSS-захист, а Chrome і Edge оголосили, що припиняють підтримку.

Виявляти різноманітні атаки можна також за допомогою інтелектуальних технологій, а саме нейронних мереж [10]. Проте у випадку XSS шкідливий код, який мережа має виявити, є кодом JavaScript, який має нестандартне кодування. Крім того JavaScript використовує такі опції як інкапсуляція, перестановка коду, та альтернативні прийоми, а отже у випадку з XSS використання нейромереж це трудомісткий випадок, але все ж таки можливий варіант вирішення цієї проблеми.

ВИСНОВКИ

Розглянуті методи організації захисту від XSS хоч є чудовими техніками запобігання більшості, проте вони лише дозволяються зменшити ймовірність виникнення атаки. Тому доцільним буде використання поєднання аналізу коду доатку, автоматизованого статичного тестування під час розробки та динамічного тестування, коли додаток з'являється в реальному світі. Використання безпечних технік процесу розробки додатків допоможуть у першу чергу запобігти виникненню вразливості, та, як можливий наслідок, нанесення значних збитків.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. XSS the most widely-used attack method of 2019 [Online]. Available: <https://www.cloudpro.co.uk/it-infrastructure/security/8352/xss-the-most-widely-used-attack-method-of-2019>
- [2]. Prevention of Cross-Site Scripting Attacks (XSS) On Web Applications [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.403.1672&rep=rep1&type=pdf#page=659>
- [3]. Печенюк О.С., Куперштейн Л.М. «Захист Веб-додатку від XSS-атак», XLIX Науково-технічна конференція факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії: БНТУ, Вінниця, 2020 [Online]. Available:
- [4]. Open web Application security project, XSS(cross site scripting).prevention cheat sheet,2011; [http://www.owasp.org/index.php/Xss_\(Cross_site_scripting\)_prevention_cheat_Sheet](http://www.owasp.org/index.php/Xss_(Cross_site_scripting)_prevention_cheat_Sheet)
- [5]. Voitovych O. P. SQL injection prevention system / O.P.Voitovych, O.S.Yukhovetskyi, L.M.Kupershtein // 2016 International Conference "Radio Electronics & Info Communications (UkrMiCo)", Kiev, 2016, pp. 1-4.
- [6]. Защита от XSS [Online] – Available: <http://www.spy-soft.net/zashhita-ot-xss/>
- [7]. How to prevent XSS [Online] – Available: <https://portswigger.net/web-security/cross-site-scripting/preventing>
- [8]. Daniel Bates, Adam Barth, Colin Jackson, Regular Expressions Considered Harmful In Client-Side XSS Filters. WWW'10 Proceedings of the 19th international conference on World Wide Web (2017). Raleigh. NC. USA.
- [9]. Engin Kirda, Nenad Jovanovic, Christopher Kruegel, Giovanni Vigna. Client-side cross-site scripting protection. Institute Eurecom, France (2016). Technical University Vienna, Austria.
- [10]. An Integrated XSS-Based Attack Detection Scheme in Web Applications Using Multilayer Perceptron Technique [Online] – Available:<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8756243>.

Верифікація Користувача на Основі Фазового Портрету Електрокардіограми

Леонід Файнзільберг
кафедра біомедичної кібернетики
Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського,
Київ, Україна
fainzilberg@gmail.com

Анастасія Заболотна
кафедра біомедичної кібернетики
Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського,
Київ, Україна,
nastiaklumchenko@ukr.net

Юлія Осадча
кафедра біомедичної кібернетики
Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського,
Київ, Україна,
josadcha@heliostech.f

User Verification Based on Electrocardiogram Phase Portrait

Leonid Fainzilberg
department of biomedical cybernetics
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
fainzilberg@gmail.com

Anastasija Zabolotna
department of biomedical cybernetics
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
nastiaklumchenko@ukr.net

Yulia Osadcha
department of biomedical cybernetics
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Kyiv, Ukraine
josadcha@heliostech.f

Анотація — Розвивається метод верифікації користувача шляхом порівняння фазового портрету його поточної електрокардіограми з заздалегідь відомим класом. Запропонована процедура визначення відстані між фазовими портретами, на основі якої проведена кластеризація фазових портретів навчальної вибірки. Представлено результати проведених експериментальних досліджень.

Abstract — The method of user verifying by comparing a phase portrait of his current electrocardiogram with a known class is developed. A procedure for determining the distance between phase portraits is proposed. Clustering of phase portraits from a training set on the basis of this procedure is carried out. The results of the experimental studies are presented.

Ключові слова — верифікація; електрокардіограма; фазовий портрет; логін; пароль

Keywords — verification; electrocardiogram; phase portrait; login; password

I. ВСТУП

Проблема біометричної ідентифікації людини, яка ґрунтується на аналізі індивідуальних характеристик особистості, набуває все більшої актуальності. Один зі способів вирішення такої проблеми, заснований на індивідуальних характеристиках одноканальної електрокардіограми (ЕКГ), вперше був запропонований українськими фахівцями в роботі [1] ще в 1995 році. І тільки через шість років, як це часто буває в науці, з'явилася закордонна публікація [2], присвячена «новому» методу ідентифікації особистості за ЕКГ. Згодом цей метод

активно розвивався в численних публікаціях інших авторів, зокрема, в роботах [3-14].

Дослідження, представлені в монографії [15], демонструють, що індивідуальні особливості ЕКГ-сигналу $z(t)$ більш виразно проявляються на фазовій площині в координатах $z(t), \dot{z}(t)$, де $\dot{z}(t)$ – швидкість електричної активності серця. Мета роботи – подальший розвиток саме такого підходу.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Нехай $z(t_k)$ – цифрова послідовність дискретних значень скалярного сигналу $z(t)$, що реєструють в одному зі стандартних ЕКГ-відведень та спостерігають в моменти часу $t_k \equiv k\Delta$, $k=1, \dots, K$, де Δ – крок квантування.

Після попереднього оброблення масиву $z(t_k)$ (видалення дрейфу ізоелектричної лінії, частотно-вибіркової фільтрації та адаптивного згладжування) вдається на основі спеціальної процедури [15] чисельного диференціювання отримати прийнятну оцінку похідних $\dot{z}(t_k)$ сигналу $z(t)$ в дискретні моменти часу t_k . В результаті формується фазовий портрет ЕКГ (ФП ЕКГ)

$$(z(t_1), \dot{z}(t_1)), (z(t_2), \dot{z}(t_2)), \dots, (z(t_K), \dot{z}(t_K))),$$

який, подібно до відбитка пальця, має характерні особливості, що властиві конкретним особам (рис. 1).

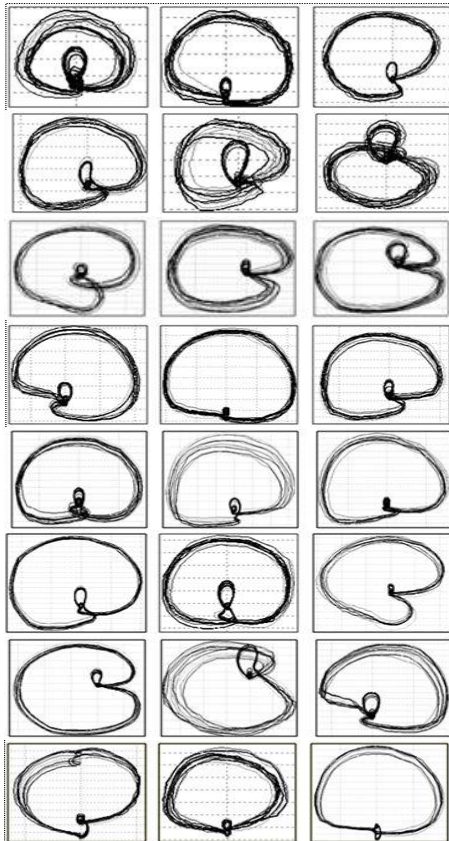


Рис.1. Приклади фазових портретів ЕКГ 24 осіб

З рис. 1 видно, що ФП ЕКГ одних людей істотно розрізняються, а в інших – є лише незначні відмінності.

Зрозуміло, не виключені ситуації, коли ФП ЕКГ різних людей взагалі однакові та практично не розрізняються. З цього випливає, що не просто розробити систему надійної ідентифікації конкретної людини за ФП ЕКГ. Принаймні таке завдання можна вважати лише далекою метою.

Водночас, в якості близької мети можна сформулювати більш просту задачу: відносити ФП ЕКГ конкретної людини до певного класу (число таких класів можна задати не дуже великим) і проводити тільки верифікацію особистості шляхом зіставлення ФП ЕКГ, що спостерігається, з номером класу ФП ЕКГ, який подібно групі крові відповідає даній особі. При розбіжності класів з високою ймовірністю можна стверджувати про негативний результат верифікації і приймати відповідні рішення.

III. КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ФАЗОВИХ ПОРТРЕТІВ ЕКГ

Нехай маємо навчальну вибірку Q ЕКГ різних користувачів:

$$S = \{S_1, S_2, \dots, S_Q\}. \quad (1)$$

Будемо оцінювати близькість між кожною парою $S_\mu \in S$ та $S_\nu \in S$ абсолютною величиною різниці між функціями $\Psi_\mu(x, y)$ і $\Psi_\nu(x, y)$, які характеризують число чорних пікселів в полі зображень фазових портретів S_μ і S_ν та належать квадратним коміркам зі сторонами ε в координатах x та y фазової площини (рис. 2):

$$L_{\mu\nu} = \sum_{x,y} |\Psi_\mu(x, y) - \Psi_\nu^{(j)}(x, y)|. \quad (2)$$

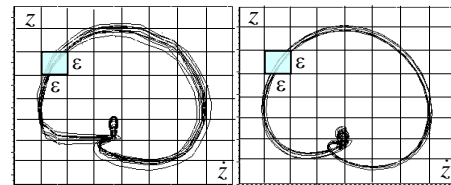


Рис. 2. Пояснення до методу оцінювання відстані між двома ФП ЕКГ

Для спрощення процедури порівнювання ФП ЕКГ перед визначенням відстані (2) проводиться нормування фазових координат за формулами

$$z^*[t_k] = \frac{z[t_k] - \min_{1 \leq k \leq K} z[t_k]}{\max_{1 \leq k \leq K} z[t_k] - \min_{1 \leq k \leq K} z[t_k]}, \quad k=1, \dots, K, \quad (3)$$

$$\dot{z}^*[t_k] = \frac{\dot{z}[t_k] - \min_{1 \leq k \leq K} \dot{z}[t_k]}{\max_{1 \leq k \leq K} \dot{z}[t_k] - \min_{1 \leq k \leq K} \dot{z}[t_k]}, \quad k=1, \dots, K. \quad (4)$$

Експериментально встановлено, що з точки зору критерію максимуму відношення міжкласового та внутрішньокласового відстаней оптимальний розмір комірок має дорівнювати

$$\varepsilon = 0,125\Delta,$$

де Δ – розмір полю зображень ФП ЕКГ. В такому випадку поле зображень покривають $N = 8 \cdot 8 = 64$ квадратних комірок.

Сформуємо квадратну матрицю

$$\Lambda = \begin{pmatrix} L_{11}, L_{12}, \dots, L_{1Q} \\ L_{21}, L_{22}, \dots, L_{2Q} \\ \dots \\ L_{Q1}, L_{Q2}, \dots, L_{QQ} \end{pmatrix}$$

відстаней між парами фазових портретів навчальної вибірки, за якою проведемо каскадну кластеризацію ФП ЕКГ. Першу пару кластерів ФП ЕКГ визначає елемент матриці Λ , що відповідає максимуму з відстаней L_{uv} .

Для визначення інших кластерів впорядкуємо рядок матриці Λ , що відповідає першому кластеру. Наявність «стрибка» на послідовності \mathcal{R}_q , $q = 1, \dots, Q$ впорядкованих відстаней (рис. 3) визначає порогове значення q_0 , за яким проводиться подальша кластеризація ФП і т.д.

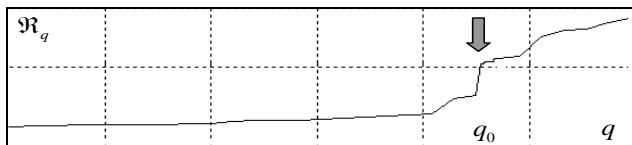


Рис. 3. Графік впорядкованих відстаней між кластерами ФП ЕКГ

На основі аналізу 300 ЕКГ записів 115 різних осіб визначено $J = 5$ характерних класів ФП ЕКГ (рис. 4).

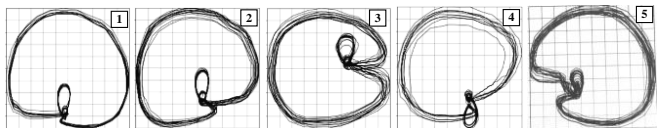


Рис. 4. П'ять характерних класів ФП ЕКГ

Оброблення ретроспективних спостережень показали, що у конкретної особи характерний тип ФП ЕКГ практично не змінюється протягом тривалого терміну (табл.1), якщо, зрозуміло, у цей період не сталися грубі органічні ураження серця.

ТАБЛИЦЯ 1. Динаміка змін ФП ЕКГ у трьох волонтерів

Рік	Волонтер Ф.	Волонтер Ж.	Волонтер Т.
ФП	Клас 1	Клас 2	Клас 3
2005			
2013			
2018			

Будемо проводити подальшу верифікацію користувачів за еталонами фазових портретів $\Phi\Pi_0^{(1)}, \dots, \Phi\Pi_0^{(J)}$, які визначимо за мінімальною сумою відстаней до інших фазових портретів кожного j -го класу, $j = 1, \dots, J$, тобто

$$\Phi\Pi_0^{(j)} = \arg \min_{1 \leq v \leq Q_j} \sum_{\mu=1}^{Q_j} L_{\mu v}^{(j)}, \quad (6)$$

де Q_j – кількість ФП j -го класу в навчальній вибірці.

IV. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ

На рис. 5 представлена структура ІТ, яка забезпечує верифікацію людини за ФП ЕКГ.



Рис. 5. Структура ІТ верифікації людини за ФП ЕКГ

Верифікація проводиться за відомим класом $\Phi\Pi_z$ фазового портрету, характерним для конкретної особи. Така інформація (логін z -го користувача) отримують шляхом сканування мікропроцесорного чипу його біометричного паспорту, кредитної картки або іншого документа.

В якості паролю доступу визначається фазовий поточний ЕКГ z -го користувача. Для цього застосовують мікропроцесорний сенсор з пальцевими електродами, за допомогою якого реєструють та передають у цифровій формі до комп'ютера поточну ЕКГ користувача $S_z^{(r)}$.

Відповідний фазовий портрет $\Phi\Pi_z^{(t)}$ порівнюється з еталонами $\Phi\Pi_0^{(1)}, \dots, \Phi\Pi_0^{(J)}$, що зберігаються в БД системи.

Порівняння здійснюється шляхом обрахунку відстаней

$$L(\Phi\Pi_z^{(t)}, \Phi\Pi_0^{(j)}) = \sum_{x,y} |\Psi^{(t)}(x,y) - \Psi^{(j)}(x,y)| \quad (7)$$

між фазовим портретом $\Phi\Pi_z^{(t)}$ поточної ЕКГ z -го користувача і всіма еталонами $\Phi\Pi_0^{(j)}$, $j = 1, \dots, J$.

Система автоматично визначає номер еталону $\Phi\Pi_0^{(t)}$, який знаходиться на мінімальній відстані (7) від фазового портрету $\Phi\Pi_z^{(t)}$ поточної ЕКГ, тобто

$$\Phi\Pi_0^{(t)} = \arg \min_{1 \leq j \leq J} L(\Phi\Pi_z^{(t)}, \Phi\Pi_0^{(j)}). \quad (8)$$

Рішення про позитивну верифікацію приймається лише в тому випадку, коли визначений $\Phi\Pi_0^{(t)}$ співпадає з введеним логіном $\Phi\Pi_z$, тобто

$$\Phi\Pi_0^{(t)} = \Phi\Pi_z. \quad (9)$$

На екзаменаційній виборці із 204 записів ЕКГ 62 різних осіб було допущено лише 1 помилку верифікації (0,5 %).

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження підтвердили, що після нормування фазових координат можна спростити процедуру визначення близькості між ФП ЕКГ шляхом обчислення абсолютною величиною різниці між функціями, що характеризують число чорних пікселів в полі зображень фазових портретів та належать елементарним квадратним коміркам фазової площини. Експериментальним шляхом встановлено, що з точки зору критерію максимуму відношення міжкласового та внутрішньокласового відстаней оптимальний розмір комірок має дорівнювати 12,5 % від розміру квадратного поля зору ФП.

Каскадна процедура кластеризації за 300 записами ЕКГ 115 різних осіб з навчальної вибірки дозволила визначити п'ять характерних класів ФП. Багаторічні спостереження підтвердили, що характерний тип ФП ЕКГ конкретної особи практично не змінюється протягом тривалого терміну.

Розроблена інтелектуальна ІТ дозволяє проводити верифікацію людини на основі порівняння фазового портрету його поточної ЕКГ зі всіма еталонами, що зберігаються в бази даних. Рішення про позитивну верифікацію приймається лише в тому випадку, коли поточний ФП співпадає з задалегідь відомим еталонним ФП, характерного для цієї людини.

Запропонований метод забезпечує достатньо високу надійність верифікації: при тестуванні 204 записів ЕКГ 62

різних осіб з незалежної екзаменаційної вибірки було допущено лише 1 помилку.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] L.S Fainzilberg., T.P., Potapova, (1995) "Computer Analysis and Recognition of Cognitive Phase Space Electro-Cardio Graphic Image" in *Computer analysis of Images and Patterns: Proceeding of the 6th International Conference (CAIP'95)*, Prague (Czech Republic), pp. 668-673.
- [2] L Biel., O Pettersson., L Philipson., P. Wide, (2001). "ECG Analysis: a New Approach in Human Identification" in *IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement*, No. 50 (3), pp. 808–812.
- [3] T.W. Shen W.J., Tompkins., Y.H. Hu, (2002). "One-lead ECG for Identity Verification" in *IEEE Engineering in Medicine and Biology: in Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology 24th Annual Conference and the 2002 Fall Meeting of the Biomedical Engineering Society (BMES / EMBS)*, Vol. 1, pp. P.62–63.
- [4] S.A. Israel S.A., J.M Irvine, A. Cheng, M.D. Wiederhold, B.K. Wiederhold, (2005). "ECG to Identify Individuals" in *Pattern Recognition*, Vol. 38, No.1, pp. 133–142.
- [5] Z. Zhang, D. Wei (2006). "A new ECG Identification Method using Bayes' Theorem" in *Proceedings of the IEEE Region 10 Conference (TENCON '06)*, Hong Kong, pp. 1-4.
- [6] G. Wtibbler, M. Stavridis, D. Kreisler, R.D. Bousseljot, C. Elster (2007). "Verification of Humans using the Electrocardiogram" in *Pattern Recognition Letters*, Vol. 28, Issue 10, pp. 1172-1175.
- [7] C.C Chiu., C. Chuang, C. A. Hsu (2008). "Novel Prsonal Identity Verification Approach using a Discrete Wavelet Transform of the ECG Signal" in *International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering*, pp. 201-206.
- [8] O. Boumbarov, Y. Velchev, S. Sokolov (2009). "ECG Personal Identification in Subspaces using Radial Basis Neural Networks" in *IEEE Int. Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, pp. 446-451.
- [9] I. Odina, P.-H. Lai., A. Kaplan, J. O'Sullivan., E. Sirevaag, S. Kristjansson, A. Sheffield, J. Rohrbaugh. (2010). "ECG Biometrics: A Robust Short-time Frequency Analysis" in *IEEE International Workshop on Information Forensics and Security*. pp. 1–6.
- [10] C.M. Ting, S.H. Salleh. (2010). "ECG Based Personal Identification using Extended Kalman Filter" in *10th International Conference on Information Sciences Signal Processing and Their Applications*, pp. 774- 777.
- [11] Ch.Hegde, H.R.Prannu, D.S.Sagar, P.D.Shenoy, K.R.Venuopal, L.M. Patnaik. (2010). "Human Authentication Based on ECG Waves Using Radon Transform" in *Security Technology, Disaster Recovery and Business Continuity. Communications in Computer and Information Science*, Vol. 122, pp. 197-206.
- [12] F. Poree, A.Gallix, G. (2011) "Carrault Biometric Identification of Individuals based on the ECG. Which conditions?" // *Computing in Cardiology*, Vol. 38. pp. 761-764.
- [13] B. Noureddine, N.A. Amine, F. Régis, B.R. Fethi. (2012). "ECG based Human Authentication using Wavelets and Random Forests" in *International Journal on Cryptography and Information Security (IJCIS)*. Vol. 2, No. 2. pp. 1-11.
- [14] Y.N Singh., S.K. Singh. (2012). "Evaluation of Electrocardiogram for Biometric Authentication" in *Journal of Information Security*, Vol. 3, pp. 39-48.
- [15] Л.С. Файнзильберг. (2017). "Основы фазографии". Киев: Освіта України, 264 с.

Системний Аналіз Процесу Забезпечення Безпеки при Організації Повітряного Руху

Владислав Черниш
Інспекція з безпеки польотів та якості
Державне підприємство обслуговування повітряного руху України (УкРАЕРОРУХ)
Київ, Україна
Chernysh_VI@uksatse.aero

System Analysis of Air Traffic Management Security

Vladyslav Chernysh
Safety and Quality Inspectorate
Ukrainian State Air Traffic Service Enterprise (UkSATSE)
Kyiv, Ukraine
Chernysh_VI@uksatse.aero

Анотація—Сфера інформаційних технологій розвивається дуже швидко в міжнародному авіаційному суспільстві, впроваджуються нові автоматизовані системи управління основними процесами суб'єктів авіаційної діяльності. Цифрова трансформація провайдерів надання послуг з аеронавігаційного обслуговування вимагає суттєвого підвищення рівня захищеності інформаційно-телекомунікаційних систем, інформаційних ресурсів та обладнання зв'язку, навігації та спостереження.

Abstract—The field of information technology in an international aviation society is developing very rapidly, new automated systems for managing the core processes of aviation entities are being introduced. The digital transformation of air navigation service providers requires a significant increase in the security of information and telecommunication systems, information resources, and communications, navigation and surveillance equipment.

Ключові слова — інформаційна безпека; аеронавігаційне обслуговування; обслуговування повітряного руху;

Keywords— information security; air navigation service; air traffic service.

I. ВСТУП

Безпека на повітряному транспорті – це комплексна властивість авіаційної транспортної системи виконувати свої функції без нанесення шкоди самої системи або населенню, в інтересах яких вона розвивається. Забезпечення інформаційної безпеки (ІБ) провайдерів аеронавігаційного обслуговування (АНО), являє собою комплексну проблему, яка включає [1]:

- правове регулювання застосування інформаційних технологій (ІТ);
- вдосконалення технологій розробки ІТ і захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах (ІТС);
- розвиток системи сертифікації;
- забезпечення відповідних організаційно-технічних умов експлуатації ІТ підрозділів провайдерів АНО.

Недопущення авіаційних подій та інцидентів, пов'язаних з операційними діями при наданні послуг з АНО є бажаним результатом діяльності галузі та провайдерів АНО.

Захист інфраструктури в частині, що стосується забезпечення ІБ підрозділів провайдера АНО необхідна для того, щоб в умовах виникнення загроз забезпечувалася безпека при організації повітряного руху (ОрПР).

Інфраструктура системи ОрПР провайдера АНО охоплює персонал, інформацію, ресурси, засоби та служби, в тому числі органи обслуговування повітряного руху (ОПР), обладнання, включаючи системи зв'язку, навігації та спостереження (ЗНС) та ІТС.

II. АНАЛІЗ ДІЯЛЬНОСТІ ПРОВАЙДЕРІВ АНО

Аеронавігаційне обслуговування– обслуговування, яке здійснюється провайдерами аеронавігаційного обслуговування на всіх етапах польоту повітряних суден, що включає організацію повітряного руху, зв'язок, навігацію, спостереження (радіотехнічне забезпечення),

пошук і рятування, метеорологічне обслуговування та надання аеронавігаційної інформації [1,2].

Враховуючи глобальну експлуатаційну концепцію організації повітряного руху ICAO [3,4] та сучасні тенденції цифрової трансформації авіаційної галузі, досягнення провайдером АНО стратегічних цілей неможливе без впровадження таких основних ІТ – компонентів функціональної системи (обладнання ЗНС)

- центри обробки даних (ЦОД) інформації АНО;
- автоматизовані системи керування повітряним рухом (АС КПр);
- системи комутації мовної інформації (СКМЗ);
- автоматизовані системи менеджменту повітряного простору (АС МПП);
- магістральні телекомунікаційні мережі (МТМ);
- комплекси обробки даних з безпеки польотів (КОД БП);
- системи обробки повідомлень ОПР;
- системи електронного документообігу.

Розвиток напряму ІТ провайдера АНО призводить також до виникнення нових уразливих місць.

Події, пов'язані з ІБ, можуть мати вплив на якість надання послуг АНО і створювати загрозу повної або часткової відмови ІТ компонентів – функціональної системи.

Функціональна система (система ОрПр) представляє собою поєднання процедур, людських ресурсів та обладнання (ІТ – компонентів), включаючи апаратне та програмне забезпечення (ПЗ), що організоване для виконання завдань в контексті АНО та інших функцій ОрПр.

У повністю ІТ – залежному середовищі АНО, стійкість до кібератак стає критично важливим фактором забезпечення безпеки діяльності об'єктів АНО.

На теперішній час, об'єктом АНО є операційні функціональні підрозділи провайдера АНО, до складу якого може входити один або кілька органів обслуговування повітряного руху (ОПР), а також інші органи, що надають послуги з АНО.

Для оцінки впливу загроз ІБ на систему ОрПр провайдера АНО необхідно сформулювати завдання, що виконують операційні підрозділи - об'єкти АНО [6-7].

Нехай:

$ANS\ 01, ANS\ 02, ANS\ n$ - об'єкти АНО, що виконують такі завдання:

1. Обслуговування повітряного руху:
 - диспетчерське обслуговування повітряного руху;
 - польотно – інформаційне обслуговування повітряного руху;

- аварійне обслуговування повітряного руху (аварійне сповіщення).
2. Управління використанням повітряного простору.
 3. Організація потоків повітряного руху.
 4. Метеорологічне обслуговування аеронавігації на маршрутах/у районах польотів.
 5. Організація та забезпечення контролю за дотриманням порядку та правил використання повітряного простору під час координації, управління використанням (менеджменту) повітряного простору та ОПР у встановлених межах відповідальності об'єкту АНО.
 6. Організація роботи секторів диспетчерського органу підходу та АДВ, брифінг-офісу.
 7. Організація та забезпечення виконання договірних зобов'язань провайдера АНО в межах своїх повноважень.

$CNS\ 01, CNS\ 02, CNS\ 03, CNS\ 04, CNS\ n$ - об'єкти ЗНС, що виконують такі завдання:

1. Забезпечення працездатності та безперебійної роботи закріпленого за об'єктом обладнання ЗНС та встановленого на ньому ПЗ з метою здійснення безпеки повітряного руху в зоні об'єкту АНО.
2. Організація та здійснення експлуатації, технічного обслуговування обладнання ЗНС, супроводу ПЗ, створення умов для їх надійного та якісного функціонування у відповідності до діючих нормативно-правових актів та організаційно-розпорядчих документів провайдера АНО.
3. Участь у розвитку ІТ, ІТС та їх ПЗ.
4. Організація, планування та виконання робіт з льотних перевірок обладнання ЗНС.

На рис. 1 зображена загальна структурна модель провайдера АНО, де:

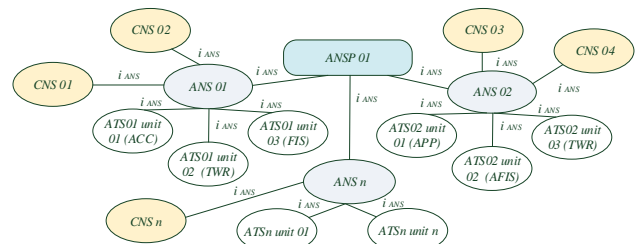


Рис. 1. Загальна структурна модель провайдера АНО

$ANS\ 01$ – провайдер АНО;

i_{ANS} – інформація АНО;

$ANS\ 01, ANS\ 02, ANS\ n$ – об'єкти АНО;

$CNS\ 01, CNS\ 02, CNS\ 03, CNS\ 04, CNS\ n$ – об'єкти ЗНС;

$ATS01, ATS02, ATSn$ – органи ОПР;

$ATS01\ unit\ 01\ (ACC)$ – районний диспетчерський центр;

$ATS01\ unit\ 02\ (TWR)$ – аеродромна диспетчерська вишка;

ATS01 unit 03 (FIS) – центр польотної інформації;

ATS02 unit 01 (APP) – диспетчерський орган підходу;

ATS02 unit 02 (AFIS) – орган аеродромного польотно-інформаційного обслуговування;

ATS02 unit 03 (TWR) – аеродромна диспетчерська вишка.

Технічна експлуатація обладнання ЗНС (наземних засобів радіотехнічного забезпечення), які призначені для забезпечення польотів повітряних суден (ПС), виконання певних функцій ОПР та є джерелом інформації АНО, здійснюється інженерно-технічним персоналом ЗНС за порядком, що встановлений чинними нормативно-правовими актами України та організаційно-розпорядчими документами провайдера АНО [5].

На теперішній момент, порядок технічної експлуатації обладнання ЗНС (наземних засобів радіотехнічного забезпечення), що встановлений на державному рівні, не передбачає:

- визначення ступеня відповідальності організації персоналом ЗНС заходів із забезпечення ІБ;
- розподіл ролей та межі відповідальності між персоналом ЗНС та персоналом підрозділів безпеки, ІТ відповідно щодо забезпечення ІБ обладнання ЗНС.

Вищезазначені чинники мають негативний ефект на системність (комплексність) підходу до забезпечення ІБ, як основного принципу забезпечення ІБ.

Проведемо аналіз шляхів розроблення та впровадження системи управління ІБ провайдера АНО, як основи для забезпечення безпеки при ОрПР та безпеки польотів. Розглянемо принципи забезпечення ІБ при наданні послуг АНО, загальну політику ІБ провайдера АНО та роль ІБ в загальній ієрархічній структурі забезпечення безпеки авіації.

III. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРОВАЙДЕРА АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Ефективність діяльності цивільної авіації, безпека польотів та безпека при ОрПР в значній мірі залежать від наявності ІТС та засобів автоматизації органів ОПР (автоматизації РМ), а також від точності і конфіденційності інформації АНО.

В контексті авіаційної галузі, безпека являє собою стан, при якому можливість заподіяння шкоди особам або майну знижена до прийняттого рівня і підтримується на цьому або нижчому рівні за допомогою постійного процесу виявлення небезпечних факторів та управління факторами ризику для безпеки польотів.

Система цивільної авіації включає постачальників послуг та обслуговування, а також державні організації. Це складна система, що вимагає оцінки людського фактору щодо забезпечення безпеки польотів і розуміння механізму впливу численних і взаємозалежних компонентів такої системи на ефективність людської діяльності.

Безпека при ОрПР характеризується комплексом заходів та пов'язана із загрозами, направленими на функціональну систему (систему ОрПР) провайдера АНО, такими як напад на будь-які активи (майно, персонал, обладнання ЗНС, ІТС, тощо) або коли система ОрПР відіграє ключову роль в запобіганні або реагуванні на загрози, які націлені на інші частини авіаційної системи та мають обмежений вплив на мережу системи ОрПР.

Безпека при ОрПР включає в себе два основних напрями:

1. Безпека інфраструктури системи ОрПР – забезпечення фізичної безпеки інфраструктури, персоналу, інформаційної безпеки обладнання ЗНС та ІТС відповідно до визначеного переліку критично важливих об'єктів інфраструктури провайдера АНО.

2. Підтримка національних інтересів: авіаційної безпеки, цивільних та військових органів, відповідальних за національну безпеку та оборону, а також правоохоронних органів.

Фізична безпека передбачає прийняття фізичних заходів для захисту персоналу, запобігання несанкціонованого доступу до обладнання, засобів і служб, матеріалів і документів, і забезпечення гарантій в тому, що система захисту не буде порушена [3].

Безпека персоналу передбачає використання процедур, що дозволяють оцінити можливість надання будь-якій особі, враховуючи при цьому його лояльність, ступінь довіри до нього і надійність, початкового і постійного доступу до конфіденційної інформації та доступу в контрольовані зони без створення неприйняттого ризику безпеки [3]. На рис. 2 представлена структурна модель процесу забезпечення безпеки інфраструктури функціональної системи (системи ОрПР) провайдера АНО (органів ОПР), де:

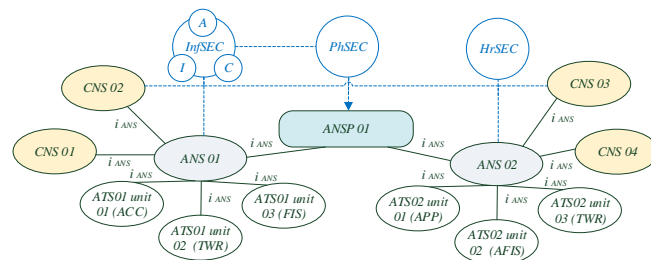


Рис. 2. Структурна модель безпеки інфраструктури органів ОПР провайдера АНО

InfSEC – процес забезпечення безпеки обладнання ЗНС та ІТС провайдера АНО, що включає гарантування базових послуг ІБ – цілісності (I), конфіденційності (C) та доступності (A) інформації АНО (i_{ANS});

PhSEC – процес забезпечення фізичної безпеки підрозділів провайдера АНО (об'єктів ЗНС, об'єктів АНО, органів ОПР тощо);

HrSEC – процес забезпечення безпеки персоналу провайдера АНО;

ANSP 01 – провайдер АНО;
ANS 01, ANS 02 – об'єкти АНО;
CNS 01, CNS 02, CNS 03, CNS 04 – об'єкти ЗНС;
ATS01, ATS02 – органи ОПП.

Підприємства авіаційної галузі сильно розрізняються з точки зору масштабу і складності їх роботи. Кожне підприємство має багаторівневу систему управління, що включає численні підрозділи, чия діяльність спрямовується через певну вибудовану систему управління. Провайдери АНО повинні інтегрувати управлінські системи, призначені для досягнення певних організаційних цілей, тобто надання послуг з АНО. Управлінську систему провайдера АНО в цілому часто називають комплексною системою управління або просто інтегрованою системою управління провайдера АНО [8].

Передумовами впровадження інтегрованих систем управління провайдера АНО є процесний підхід до діяльності та ризик-орієнтований підхід до забезпечення безпеки. Основними система управління, спрямованими на недопущення авіаційних подій та інцидентів є СУБП та система управління безпекою при ОрПР відповідно. Розглянемо визначення та функції цих систем управління.

Системний підхід до управління безпекою польотів, який включає необхідні організаційні структури, розподіл відповідальності, політику і процедури називають СУБП. СУБП зачіпає ті види експлуатаційної діяльності провайдера АНО, які відносяться до безпечної експлуатації ПС.

Системний підхід до забезпечення стійкості, цілісності інфраструктури системи ОрПР провайдера АНО називається системою управління безпекою при ОрПР. До системи управління безпекою при ОрПР входить система управління безпекою інфраструктури ОрПР та система управління підтримки національних інтересів.

Базова модель загроз безпеки інфраструктури системи ОрПР провайдера АНО повинна містити систематизований перелік загроз безпеки за напрямками *InfSEC*, *PhSEC*, *HrSEC* та розробка плану заходів безпеки об'єктів АНО, ЗНС на випадок непередбачених обставин.

Управління ризиками безпеки провайдера АНО є складним і багатогранним процесом, що вимагає використання комплексного підходу. Він повинен в повній мірі враховувати всі аспекти діяльності провайдера АНО і особливості функціонування органів ОПП в частині інформатизації.

Аналіз безпеки системи ОрПР слід проводити на основі ключових елементів діяльності провайдера АНО (основних процесів), включаючи персонал, процедури, обладнання ЗНС та ІТС, пов'язаних із процесами управління і підтримки.

Незважаючи на те, що заходи безпеки, передбачені для цих елементів, вимагають залучення фахівців різного

профілю, загальні управлінські рішення в сфері безпеки повинні в першу чергу прийматися на організаційному рівні. Ці елементи не є незалежними, оскільки з точки зору вкладу в забезпечення послуг з АНО їх функції взаємопов'язані.

ВИСНОВКИ

Проведений системний аналіз показав, що в умовах зростання обсягів повітряного руху та цифрової трансформації авіаційної галузі увага до забезпечення безпеки при ОрПР істотно зростає. Забезпечення безпеки інфраструктури функціональної системи (системи ОрПР) є одним з пріоритетних напрямів діяльності в частині, що стосується процесів управління провайдера АНО.

Базова модель загроз безпеки інфраструктури системи ОрПР провайдера АНО повинна містити систематизований перелік загроз безпеки за напрямками:

- інформаційна безпека обладнання ЗНС та ІТС;
- фізична безпека;
- безпека персоналу.

Події, пов'язані з ІБ, можуть створювати потенційну загрозу повної або часткової відмови обладнання ЗНС та ІТС. Реалізація загроз ІБ може вплинути на якість надання таких послуг з АНО:

- обслуговування повітряного руху;
- зв'язок, навігація спостереження;
- обслуговування аеронавігаційною інформацією;
- метеорологічне обслуговування авіації.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Повітряний кодекс України від 19.05.2011 № 3393-VI.
- [2] Правила сертифікації суб'єктів, що надають послуги з аеронавігаційного обслуговування (наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 22.01.2007 № 42, зареєстрований Міністерством юстиції України 07.02.2007 за №104/13371.
- [3] ICAO Air Traffic Management Security Manual, Doc.9985.
- [4] ИКАО Глобальная эксплуатационная концепция ОрВД, Doc.9854.
- [5] Правила технічної експлуатації наземних засобів радіотехнічного забезпечення в цивільній авіації України, затверджені наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 08.05.2007 року №381, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 21.06.2007 року №705/13972.
- [6] Замула А.А. Автоматизация процессов обслуживания воздушного движения / А.А. Замула, В.И. Черныш, А.В. Северинов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Науково-технічний журнал. Вип 2(6) – Харків: ХУ ПС, 2013. – С. 161-165.
- [7] Черныш В.И. Метод оцінки зрілості системи управління безпекою при організації повітряного руху / І.Д.Горбенко, О.А. Замула, С.Г. Вдовенко, В.І.Черныш // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – Харьков: ХНУРЭ. – 2018. – Вып. 195. - С. 218-223.
- [8] Черныш В.И. Метод оценки рисков информационной безопасности в системе организации воздушного движения /В.И. Черныш // Комп'ютерні технології друкарства. Збірник наукових праць. Вип. 32 – Львів: Укр. акад. Друкарства, 2014. – С.29 – 37.

Побудова Модифікації Постквантової Криптосистеми AJPS-1 Шляхом Зміни Метрики

Дарія Ядуха, Андрій Фесенко

кафедра математичних методів захисту інформації
Фізико-технічний інститут

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна

dariya.yadukha@gmail.com, andrey.fesenko@gmail.com

The Creation of Modification of Quantum-resistant AJPS-1 cryptosystem By Changing the Metric

Dariya Yadukha, Andrii Fesenko

dept. of Mathematical Methods of Information Security
Institute of Physics and Technology University

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Kyiv, Ukraine

dariya.yadukha@gmail.com, andrey.fesenko@gmail.com

Анотація — У даній роботі доводяться співвідношення метрики *OSD* для чисел за модулем числа Мерсенна та описується модифікація постквантової криптосистеми AJPS-1 з використанням метрики *OSD*.

Abstract — In this paper we prove inequalities of *OSD* metric for numbers modulo Mersenne number and describe the modification of the quantum-resistant AJPS-1 cryptosystem using the *OSD* metric.

Ключові слова — постквантова криптосистема; криптосистема AJPS; модульна арифметика; число Мерсенна

Keywords — quantum-resistant cryptosystem; the AJPS cryptosystem; modular arithmetic; Mersenne number

I. ВСТУП

В останні роки здійснено значний обсяг досліджень побудови масштабованих квантових комп'ютерів. У разі успішної побудови, великомасштабний квантовий комп'ютер зможе зламати більшість сучасних асиметричних криптосистем, які зараз використовуються на практиці, що поставить під сумнів конфіденційність та цілісність цифрових комунікацій. Тому є мотивація створювати постквантові криптосистеми, які будуть стійкі до атак з використанням як квантового, так і класичного, комп'ютерів, а також зможуть бути інтегрованими з наявними протоколами та мережами зв'язку.

Національний інститут стандартів і технологій США (NIST) наприкінці 2017 року розпочав конкурс постквантових криптопримітивів, який триватиме до 2024 року [1]. Одним з учасників першого раунду конкурсу [2] є механізм інкапсуляції ключів Mersenne-756839, який оснований на криптосистемі AJPS [3].

Криптосистема AJPS розроблена групою відомих криптологів у складі Д. Аггарвала, А. Жу, А. Пракаша та М. Санта. Криптосистема AJPS має дві версії – для шифрування біту повідомлення (AJPS-1) та для шифрування блоку повідомлення (AJPS-2). Особливістю криптосистеми AJPS є використання арифметики за модулем числа Мерсенна, яка може бути ефективно реалізована за рахунок існування алгоритмів швидкого обчислення трудомістких операцій за модулем числа Мерсенна, таких як редукція, множення, пошук оберненого, покомпонентні операції додавання та множення тощо [4, 5].

II. ОПИС КРИПТОСИСТЕМИ AJPS-1

Криптосистема AJPS-1 [3] дозволяє зашифрувати один біт повідомлення, відповідно відкритим текстом є число $b \in \{0, 1\}$. При побудові криптосистеми визначається параметр захищеності λ . Відкритими параметрами системи є числа $M_n = 2^n - 1$ та h , де h – фіксоване число, яке задовольняє умовам $C_n^h \geq 2^\lambda$ та $4h^2 < n \leq 16h^2$.

Слід зауважити, що тут і надалі для спрощення запису ототожнюємо числа за модулем числа Мерсенна M_n та бітові рядки довжини n . Це можливо, оскільки між множинами, які задають дані значення, існує взаємно однозначне відображення.

Позначимо множину n -бітових чисел, які за модулем числа Мерсенна $M_n = 2^n - 1$ мають вагу Хеммінга h , як

$$HM_{n,h} = \{x \in \{0,1\}^n : Ham(x \bmod M_n) = h\}.$$

- Генерація ключів відбувається так:
 1. Числа F та G обираються випадково та незалежно з множини $HM_{n,h}$.
 2. Особистим ключем є число G , а відкритим ключем – число $H = F \cdot G^{-1} \bmod M_n$.

- Шифротекст C обчислюється за формулою

$$C = (-1)^b (A \cdot H + B) \bmod M_n,$$

де A, B – незалежно і рівноймовірно обрані значення з множини $HM_{n,h}$.

- Для розшифрування обчислюється значення

$$d = Ham(C \cdot G \bmod M_n),$$

після чого біт b визначається наступним чином:

$$b = \begin{cases} 0, & \text{якщо } d \leq 2h^2; \\ 1, & \text{якщо } d \geq n - 2h^2; \\ \perp, & \text{інакше (помилка розшифрування)}. \end{cases}$$

Коректність розшифрування впливає з лемі 1.

Лема 1. Для довільних чисел $A, B \in \{0,1\}^n$ та числа Мерсенна $M_n = 2^n - 1$ виконуються такі співвідношення:

- 1) $Ham(A + B \bmod M_n) \leq Ham(A) + Ham(B)$;
- 2) $Ham(A \cdot B \bmod M_n) \leq Ham(A) \cdot Ham(B)$;
- 3) $Ham(-A \bmod M_n) = n - Ham(A)$, якщо $A \neq 0^n$.

III. ОПИС МОДИФІКАЦІЇ КРИПТОСИСТЕМИ AJPS-1 З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТРИКИ OSD

Для можливої модифікації криптосистеми AJPS-1 шляхом зміни метрики необхідно використовувати співвідношення для ваги Хеммінга, аналогічні співвідношенням, що описані в лемі 1, але з використанням іншої метрики.

Визначимо метрику OSD (з англ. *One-side disbalance*) таким чином:

$$OSD(X) = \#1(X) - \#0(X),$$

де $\#1(X)$ позначає кількість 1 у бінарному записі числа X , а, відповідно, $\#0(X)$ – кількість нулів в X .

Для чисел за модулем числа Мерсенна виконуються співвідношення, описані у наступній лемі.

Лема 2. Для довільних чисел $A, B \in \{0,1\}^n$ та числа Мерсенна $M_n = 2^n - 1$ виконуються такі співвідношення:

- 1) $OSD(A + B \bmod M_n) \leq OSD(A) + OSD(B) + n$;
- 2) $OSD(A \cdot B \bmod M_n) \leq \frac{OSD(A) \cdot OSD(B)}{2} + n \cdot \left(\frac{OSD(A) + OSD(B) + n}{2} - 1 \right)$;
- 3) $OSD(-A \bmod M_n) \leq -OSD(A)$.

Доведення. Потрібно помітити, що метрика OSD може бути представлена через метрику Ham таким чином:

$$OSD(X) = Ham(X) - (n - Ham(X)) = 2 \cdot Ham(X) - n,$$

де X – n -бітове число.

- 1) Можемо представити $OSD(A + B \bmod M_n)$ через вагу Хеммінга таким чином:

$$OSD(A + B \bmod M_n) = 2 \cdot Ham(A + B \bmod M_n),$$

після чого застосовуємо пункт 1 лемі 1. Тоді

$$OSD(A + B \bmod M_n) \leq 2 \cdot Ham(A) + 2 \cdot Ham(B) - n.$$

Тобто маємо:

$$OSD(A + B \bmod M_n) \leq 2 \cdot Ham(A) + OSD(B) = 2Ham(A) - n + n + OSD(B) = OSD(A) + OSD(B) + n.$$

- 2) Використовуючи пункт 2 лемі 1, маємо:

$$OSD(A \cdot B \bmod M_n) = 2 \cdot Ham(A \cdot B \bmod M_n) - n \leq 2 \cdot Ham(A) \cdot Ham(B) - n.$$

Виконуємо заміну метрики Ham на метрику OSD :

$$OSD(A \cdot B \bmod M_n) \leq 2 \cdot \frac{OSD(A) + n}{2} \cdot \frac{OSD(B) + n}{2} = \frac{OSD(A) \cdot OSD(B) + n \cdot (OSD(A) + OSD(B)) + n^2}{2} - n.$$

- 3) Застосовуючи пункт 3 лемі 1 та залежність значення OSD деякого числа від його ваги Хеммінга, отримуємо:

$$OSD(-A \bmod M_n) = 2 \cdot Ham(-A \bmod M_n) - n = 2 \cdot (n - Ham(A)) - n = n - Ham(A) = -OSD(A).$$

Лему доведено.

Використовуючи описані у лемі 2 результати, можна побудувати модифікацію криптосистеми AJPS-1, яка буде

використовувати дві метрики – *Ham* та *OSD*. Розглянемо її далі.

- Процедура генерації ключів та алгоритм шифрування такі ж як у криптосистемі AJPS-1, позначимо $q = 2h - n$, тобто

$$OSD(A) = OSD(B) = OSD(F) = OSD(G) = q.$$

- При розшифруванні обчислюється значення

$$s = OSD(C \cdot G \bmod M_n),$$

біт b визначається відповідно до значення s :

$$b = \begin{cases} 0, & \text{якщо } s \leq (n + q)^2 - n; \\ 1, & \text{якщо } s \geq n - (n + q)^2; \\ \perp, & \text{інакше (помилка розшифрування)}. \end{cases}$$

Коректність розшифрування описаної модифікації слідує з леми 2. Перевагою такої модифікації криптосистеми AJPS-1 є збільшення множини значень, які приймає параметр s , відповідно до якого визначається біт повідомлення. Даний результат продемонстровано в наступній таблиці.

ТАБЛИЦЯ І. Порівняння криптосистеми AJPS-1 та модифікації криптосистеми AJPS-1, яка використовує метрику *OSD*, при серії з 1000000 застосувань процедури шифрування та розшифрування при фіксованих значеннях ключів

n	h	Метрика, що застосовується в криптосистемі	Довжина інтервалу при $b = 0$	Довжина інтервалу при $b = 1$
1279	17	<i>Ham</i>	105	112
		<i>OSD</i>	212	194
2203	23	<i>Ham</i>	147	141
		<i>OSD</i>	292	286
3217	28	<i>Ham</i>	171	170
		<i>OSD</i>	370	352
4253	32	<i>Ham</i>	201	204
		<i>OSD</i>	390	418
9689	49	<i>Ham</i>	294	319
		<i>OSD</i>	656	620

Зауваження. Довжина інтервалу обчислювалась як різниця максимального та мінімального значень серед отриманих результатів.

На Рис. 1 та Рис. 2 зображено розподіл значення d криптосистеми AJPS-1 та розподіл значення s модифікації криптосистеми AJPS-1 з використанням метрики *OSD*. Дані результати отримано експериментально при серії з 1000000 застосувань процедури шифрування та розшифрування кожної з криптосистем.

Таким чином, описана модифікація криптосистеми AJPS-1 має перевагу у порівнянні з AJPS-1, адже через невелику кількість значень параметру d можливі успішні атаки на основі відомих шифротекстів, які направлені на визначення особистого ключа G .

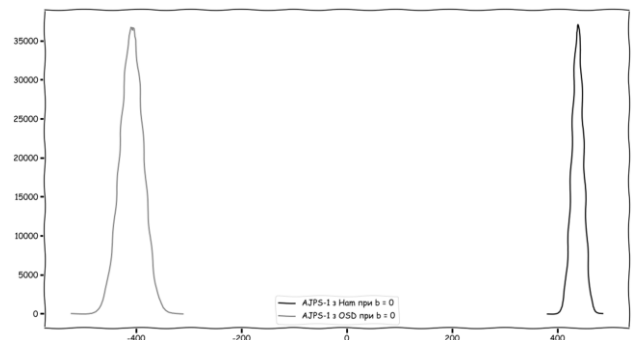


Рис. 3. Розподіли значень d і s при параметрах $n = 1279$, $h = 17$ та $b = 0$.

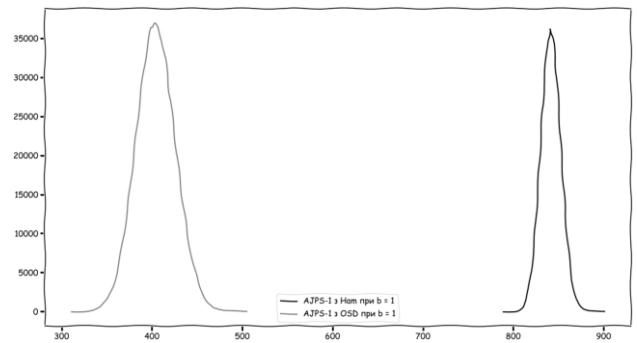


Рис. 4. Розподіли значень d і s при параметрах $n = 1279$, $h = 17$ та $b = 1$.

ВИСНОВКИ

У даній роботі розглянуто постквантову криптосистему AJPS-1. Особливістю даної криптосистеми є застосування арифметики за модулем числа Мерсенна, зокрема в криптосистемі використовуються співвідношення для ваги Хеммінга чисел за модулем числа Мерсенна. Для побудови модифікації даної криптосистеми шляхом зміни метрики отримано співвідношення метрики *OSD* для чисел за модулем числа Мерсенна. У роботі описано побудовану модифікацію криптосистеми AJPS-1 зі зміненою метрикою та проаналізовано її переваги у порівнянні з криптосистемою AJPS-1.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] National Institute of Standards and Technology (2017) “Post-Quantum Cryptography Standardization” [Online]. Available: <https://csrc.nist.gov/Projects/post-quantum-cryptography/Post-Quantum-Cryptography-Standardization>
- [2] National Institute of Standards and Technology (2017) “Round 1 Post-Quantum Cryptography” [Online]. Available: <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography/round-1-submissions>
- [3] Aggarwal, D., Joux, A., Prakash, A. and Santha, M., 2020. *Cryptology ePrint Archive: Report 2017/481 - A New Public-Key Cryptosystem Via Mersenne Numbers*. [Online] Available: <https://eprint.iacr.org/2017/481>
- [4] Nath K., Sarkar P., 2018. *Cryptology ePrint Archive, Report 2018/985 - Efficient Arithmetic in (Pseudo-) Mersenne Prime Order Fields*. [Online] Available: <https://eprint.iacr.org/2018/985>
- [5] Bajard, J., Imbert L., Plantard T., 2004. *HAL-LIRMM - Modular Number Systems: Beyond the Mersenne Family*. [Online] Available: <https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-00109208>

СЕКЦІЯ 6.

**Архітектоніка та компоненти
комп'ютерних систем та мереж**

SECTION 6.

**Components, computer systems
and networks architectonics**

Еволюційний Метод Реінжинірингу Топологічних Структур Корпоративних Комп'ютерних мереж

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

Ганна Безугла
кафедра системотехніки,
Харківський національний університет
радіоелектроніки
Харків, Україна
anna.bezuglaya@nure.ua

Evolutionary Method of Reengineering Topological Structures of Corporate Computer Networks

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

Anna Bezuglaya
Department of System Engineering
Kharkiv National University of Radio Electronics
Kharkiv, Ukraine
anna.bezuglaya@nure.ua

Анотація—Розглянуто задачу реінжинірингу топологічних структур тривірневих централізованих корпоративних комп'ютерних мереж. Запропоновано еволюційний метод оптимізації, який на відміну від існуючих здійснює пошук варіантів одночасно у всьому діапазоні можливих значень кількості вузлів мережі.

Abstract— The problem of reengineering topological structures of three-tier centralized corporate computer networks is considered. An evolutionary optimization method is proposed which, unlike the existing ones, searches for variants simultaneously over the entire range of possible values of the number of network nodes.

Ключові слова—корпоративна комп'ютерна мережа, топологічна структура, проектування, реінжиніринг, оптимізація.

Keywords— corporate computer network, topological structure, design, re-engineering, optimization.

І. ВСТУП

Зміни економічних і технологічних умов, в яких функціонують виробничі, транспортні, обслуговуючі, ІТ-компанії, вимагають відповідних змін в їхніх структурах і системах керування ними. Функції автоматизації керування реалізуються на основі корпоративних комп'ютерних мереж (ККМ). Процеси реінжинірингу (оптимізації) ККМ передбачають ітераційне розв'язання комплексу задач їх структурної, топологічної, параметричної та технологічної оптимізації. Такі задачі мають комбінаторний характер та розв'язуються за

множиною функціональних і вартісних показників. Їх спільне розв'язання дозволяє суттєво покращувати проектні рішення, проте призводить до проблем обчислювального характеру.

ІІ. ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ

У рамках кардиналістичного підходу загальна задача вибору найкращого варіанту побудови ККМ може бути подана у вигляді:

$$s^o = \arg \max_{s \in S} P(N, T, R, G, A), \quad (1)$$

де S - множина допустимих варіантів; P - скалярна оцінка ефективності варіанта; N - кількість елементів мережі; T - типи елементів; R - архітектура мережі; G - топологія (розміщення елементів) мережі; A - технологія функціонування мережі.

Для розв'язання задач виду (1) розроблені точні (комбінаторні) та наближені методи [1-2]. Точні методи дозволяють знаходити оптимальні проектні рішення, однак через їхню обчислювальну складність можуть бути застосовані тільки для мереж з невеликою кількістю елементів. Наближені методи використовують ідеї спрямованого перебору, покоординатної оптимізації, моделювання еволюції [3-4]. Для зниження часової складності і підвищення точності наближених методів застосовують [4]: відсікання множин неефективних рішень; попередні оцінки оптимальної кількості вузлів

мережі; процедури виходу з локальних екстремумів. Необхідність підвищення функціональних характеристик існуючих мереж, економії витрат на їх реінжиніринг й експлуатацію обумовлюють актуальність завдань розробки більш ефективних методів оптимізації їх топологічних структур.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

За результатами системологічного аналізу задачі (1) виявлено, що архітектура мережі R визначається на множині допустимих варіантів S за обраним показником ефективності P з урахуванням кількості елементів мережі N , їх типів T , місць розташування G і технології функціонування A . Це дозволяє узагальнено розглядати показник ефективності мережі у залежності від її топологічної структури.

При забезпеченні вимог до функціональних показників витрати на створення й експлуатацію мережі складаються з витрат на її елементи, вузли, центр і зв'язки між ними. У випадку, коли вузли системи (включаючи центральний) утворюються на базі її елементів критерій оптимізації витрат у залежності топологічної структури мережі матиме вигляд:

$$C = \sum_{i=1}^N c_i(r_{ij}) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} r_{ij} \rightarrow \min_{r_{ij}}, \quad (2)$$

де c_i - витрати на i -й елемент мережі; c_{ij} - витрати на організацію взаємодії i -го й j -го елементів мережі; r_{ij} - елемент матриці R , булева змінна ($r_{ij} = 1$, якщо i -й і j -й елементи мережі мають безпосередній зв'язок; $r_{ij} = 0$ - в іншому випадку; $r_{ii} = 1$ - для вузлів мережі).

Система обмежень для мереж з централізованими тривірневими топологічними структурами задається у вигляді:

- центром є перший елемент мережі $r_{11} = 1$;
- кожен елемент має бути зв'язаним з одним із вузлів мережі $\sum_{j=1}^N r_{ij} \geq 1 \quad \forall i = \overline{1, N}$;
- загальна кількість зв'язків у мережі $\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N r_{ij} = N + \sum_{i=1}^N r_{ii}$;
- кожен з вузлів має бути безпосередньо зв'язаним з центром $r_{ii} = 1 \rightarrow r_{i1} = 1 \quad \forall i = \overline{1, N}$;
- елемент підключається до вузла за показником мінімуму витрат

$$r_{ii} = 1 \wedge r_{ij} = 1 \rightarrow ij = \arg \min_{1 \leq i \leq N} \{ c_{ij} : r_{ii} = 1 \}.$$

У запропонованому еволюційному методі (на відміну від методів, що реалізують спрямований перебір за кількістю вузлів у мережі [4]) реалізується постійний

пошук на всій множині можливих значень кількості вузлів. Виходячи з необхідності зв'язку вузла хоча б з двома елементами мережі, за діапазон її можливих значень обрано $[1, N/2]$. При цьому для кодування рішень використовується бінарний вектор, елементами якого є діагональні елементи матриці $R = [r_{ij}]$.

Метод реалізує типові процедури генетичного алгоритму: випадкової генерації початкової популяції, пропорційного відбору, одноточкового кросоверу, ймовірнісної мутації та наслідування. Реалізація типових процедур у зазначених умовах дозволяє паралельно здійснювати пошук по кількості вузлів мережі та місцях їх найкращого розміщення. За рахунок цього метод набуває переваг за показниками часу розв'язання задачі і точності над методами кластеризації на основі k-means і пошуку з заборонами (Tabu Search) [4]. Зростання якості отримуваних варіантів топологічних структур ККМ сповільнюється зі збільшенням кількості циклів генетичного алгоритму. Рациональна кількість циклів визначається розмірністю розв'язуваної задачі і наявними обчислювальними ресерсами.

ВИСНОВКИ

Для задачі реінжинірингу топологічних структур централізованих тривірневих ККМ запропоновано еволюційний метод розв'язання. На відміну від відомих методів, що реалізують повний або спрямований перебір варіантів за кількістю і місцями розміщення вузлів мережі, запропонований метод здійснює пошук одночасно у всьому діапазоні можливої кількості вузлів. Це дозволяє суттєво зменшити часову складність процедури пошуку рішень, що особливо важливо для задач відносно великої розмірності. Запропонований метод доцільно використовувати при розв'язанні задач проектування чи реінжинірингу інформаційних, транспортних, логістичних систем, територіально розподілених систем обслуговування в процесах їхнього проектування, планування розвитку чи реінжинірингу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Nesterenko S.A., Nesterenko J.S. Costs evaluation methodic of energy efficient computer network reengineering // Праці Одеського політехнічного університету. 2016. Вип. 2 (49). 70-75.
- [2] Elyasi-Komari I., Mamalis A.G., Lavrynenko S.N. The analysis of tasks of development and reengineering process of reliability computer networks for critical technologies // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць НТУ «ХПИ». 2009. №2. С. 17-21.
- [3] Бескоровайный В.В., Имангулова З.А. Генетический алгоритм структурной оптимизации централизованных многоуровневых ИВС // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. 2000. Вип. 83. С. 4-7.
- [4] Бескоровайный В.В., Подоляка К.Е. Модификации метода направленного перебора для реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга // Радиоэлектроника и информатика. 2015. № 3 (70). С. 55-62.

Development and Modelling of Devices for Squaring Numbers on FPGA

Volodymyr Hryha, Taras Benko

Department of Computer Engineering and Electronics
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
v.dr_2000@ukr.net

Stepan Melnychuk

Department of Computer System and Networks
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and
Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
stenni@bigmir.net

Lesya Nykolaichuk

Department of Theory of Optimal Processes
Ivan Franko National University of Lviv
Lviv, Ukraine
nuklesya1@gmail.com

Ludmyla Hryha, Orest Volynskyi

Department of Programming and Informatics
Nadvirna College by NTU
Nadvirna, Ukraine
hrihaludmila31@gmail.com

Розробка і Моделювання Пристроїв Піднесення Чисел до Квадрату на ПЛІС

Грига Володимир, Тарас Бенько

кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
Прикарпатський національний університет ім. В.
Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
v.dr_2000@ukr.net

Степан Мельничук

кафедра комп'ютерних систем і мереж
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
stenni@bigmir.net

Леся Николайчук

кафедра теорії оптимальних процесів
Львівський національний університет ім. І. Франка
Львів, Україна
nuklesya1@gmail.com

Людмила Грига, Орест Волинський

кафедра програмування та інформатики
Надвірнянський коледж НТУ
Надвірна, Україна
hrihaludmila31@gmail.com

Abstract— In this paper we have analyzed algorithms for squaring binary numbers and determined their advantages and disadvantages. Investigated temporal and hardware characteristics of circuits for squaring binary numbers that use improved single digit full and partial adders. Developed algorithmic and pipeline structures of devices for squaring binary numbers by using flow graph theory. Received analytical formulas for complexity of developed squarers. Determined that algorithmic and pipeline structures of squarers have higher performance but also have higher hardware requirements in comparison to proposed multi-cycle structures. Synthesized structures of developed squarers on FPGA of Xilinx company and received convergence of theoretical and practical results.

Анотація— Проведено аналіз алгоритмів піднесення двійкових чисел до квадрату та визначено їх переваги і недоліки. Досліджено апаратні та часові характеристики схемотехнічних структур квадраторів двійкових чисел із використанням вдосконалених структур однорозрядних повних і неповних суматорів. Розроблено алгоритмічні та конвеєрні структури пристроїв піднесення двійкових чисел до квадрату із застосування теорії потокових графів. Отримано аналітичні вирази для оцінки характеристик складності розроблених структур квадраторів. Визначено, що алгоритмічні і конвеєрні структури квадраторів мають високу швидкодію і потребують значних апаратних затрат на відміну від запропонованих багатотактових структур, які мають значно нижчу швидкодію, проте апаратна складність і

відповідно займана площа на кристалі є мінімальними. Виконано синтез розроблених структур двійкових квадраторів на ПЛІС фірми Xilinx та показано збіжність теоретичних та практичних результатів досліджень.

Keywords — *binary squaring; algorithm; multi-cycle square; data flow and spatial-temporal graph; FPGA.*

Ключові слова— *двійковий квадрат; алгоритм; багатотактовий квадрат; поточковий і просторово-часовий граф; ПЛІС*

I. INTRODUCTION

Widespread use of algorithms and methods of performing mathematical operations, including arithmetic operations, logical operations and elementary functions, in computer technology and their improvement allows to find new solutions that need implementation and research on modern element base using FPGA [1].

An important operation that is often used in many algorithms for signal and image processing, compression, and data encryption is the operation of raising a binary number to a square [2-5].

It is known that the implementation of algorithms for raising numbers to a square is carried out in different theoretical and numerical bases [3] One of the most famous and widespread bases for this operation is a binary or Rademacher basis. In addition to the software methods for implementing of a squaring operation in binary system, there are hardware methods that can be divided into three groups: analytical methods implemented by matrix or multilayered combination schemes of single-digit adders [3] table based, implementation of which is based on permanent memory devices [4] and table-algorithmic methods which, in addition to the permanent storage devices, contain adders, registers, and other microelectronic components [5].

The high performance of the operation of raising binary numbers to the square in algorithmic and conveyor circuits is achieved due to the approximation of their flow graphs of algorithms to the hardware structure of the device using spatial parallelism [4]. Developed algorithmic and conveyor devices for raising the numbers to the square have high performance, but the hardware costs, low hardware utilization in a single flow of data and the occupied area of the chip are quite significant [1-4].

Therefore, in some cases, from the point of view of hardware resources (area of the chip), increasing the utilization of equipment and non-critical time parameters, it is advisable to perform the squaring using one or more synthesized computing elements. This is possible when applying the methodology of spatio-temporal graphs, which allows to combine same algorithm operations in hardware execution. This will allow to optimize structure of the binary algorithm for squaring number, which contains a large number of similar operations of full and partial single-digit summation and operations of logical multiplication.

Therefore, it is important to develop and study hardware structures of algorithms for raising the numbers to the square, using flow and space-time graphs, and their modeling and

synthesis on the FPGA for the implementation of an effective structure with the optimal ratio of hardware cost and performance.

II. ANALYSIS OF ALGORITHM FOR SQUARING BINARY NUMBERS

There is an analytical method of raising a binary number to a square [4]. The method is based on decomposing a binary number according to the formula:

$$A_1 = a_{n-1}2^{n-1} + a_{n-2}2^{n-2} + \dots + a_i2^i + \dots + a_02^0 \quad (1)$$

where, $a_i \in \{0;1\}$; $i = \overline{0; n-1}$; 2^i - the weight of the bit.

Give the number A_1 the sum of two parts $A_1 = a_{n-1}2^{n-1} + A_2$, where $A_2 = a_{n-2}2^{n-2} + \dots + a_02^0$.

After squaring the sum we will get: $A_1^2 = a_{n-1}^2 2^{2(n-1)} + 2a_{n-1}2^{n-1}A_2 + A_2^2$. Next step of raising binary number to the square A_2 and as a result we get $A_2^2 = a_{n-2}2^{2(n-1)} + 2a_{n-2}2^{n-2}A_3 + A_3^2$, where

$A_3 = a_{n-3}2^{n-3} + \dots + a_02^0$. Next of raising binary number to the square A_3 and so on. Finally, we get the value, $A_{n-1}^2 = a_{n-(n-1)}^2 2^{2[n-(n-1)]} + 2a_{n-(n-1)}2^{n-(n-1)}A_n + A_n^2$, moreover $A_n = a_0$. So, as a_i it can value take only 0 or 1, then $a_i^2 = a_i$.

Let's write down the general expression for a A_i^2 by taking into account expressions for $A_2^2, A_3^2, \dots, A_n^2$, and grouping in the first part the terms that do not contain A_2, A_3, \dots, A_n :

$$A_1^2 = [a_{n-1}2^{2(n-1)} + a_{n-2}2^{2(n-2)} + \dots + a_0] + [a_{n-1}2^n A_2 + a_{n-2}2^{n-1} A_3 + \dots + a_1 2^2 A_n] \quad (2)$$

The first term of formula (2) is the expression (1), in which the weight of each bit is increased in 2^i times. The second term may be expanded by replacing A_2, A_3, \dots, A_n with their values. As result we will obtain the matrix of terms. Matrix for 4-bit number is shown in table 1.

TABLE I. ALGORITHM FOR RAISING A 4-BIT NUMBER TO A SQUARE

row multiplier	weight of the bit						
	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1
	a_3	0	a_2	0	a_1	0	a_0
a_3	a_2	a_1	a_0				
a_2			a_1	a_0			
a_1					a_0		

The columns in the table correspond to the values of the weight of the numbers a_i . The first row of numbers describe

first part of formula (2). The rest of the table corresponds to the second part of formula (2). Table 1 illustrates the algorithm for raising a 4-bit number to a square.

III. RESEARCH OF ALGORITHMIC AND CONVEYOR STRUCTURES OF BINARY SQUARING

On Fig. 1 shown the algorithmic structure 4-bit of the squaring binary numbers device, which is built according to the algorithm presented in table 1.

The squaring contains the logical elements "AND" for the realization of partial products of type $(a_i a_j)$ and the full (FA) and half adders (HA) for summing the results of logical multiplication and intermediate carries.

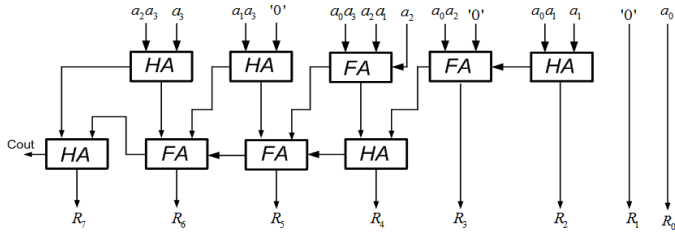


Fig. 1. The structure of devices for squaring 4-bit binary numbers.

Binary squaring consists of $n(\log_2 n + 1) - 6$ operations of the logical product and $[(n^2+n)/\log_2 n] - 1$ - operations of one-bit binary adding. For full binary adding n operations are needed, and for not full adding - $n + 1$ operations, where n - the bit-capacity of the input number to be squared.

The input number of the square is 4-bit (a_0, \dots, a_3) and the output result is 8-bit (R_0, \dots, R_7) .

On Fig. 2 shown internal structures of single-digit adders that are built using "XOR" elements.

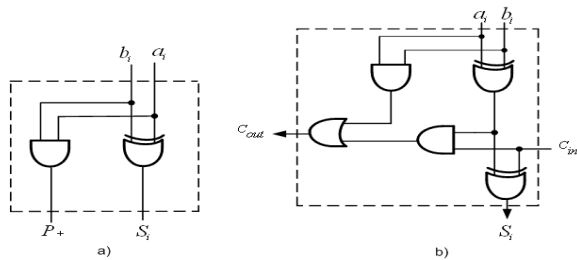


Fig. 2. The internal structure of single-digit adders: a) half adders, b) full adders.

The hardware complexity of an single-digit half adder will be equal: $A_{HA} = 5$ (gates).

The time complexity of an single-digit half adder for the sum will be equal $\tau_{HA_S} = 3$ (micro-cycles) and for output transfer $\tau_{HA_P} = 1$ (micro-cycles).

On Fig. 3 shown the microelectronics implementation of a half single-digit adder according to the scheme in Fig. 2a and functional diagram their of work.

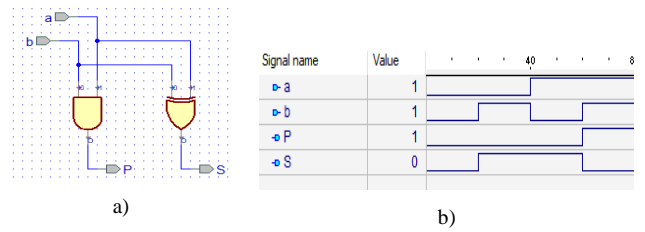


Fig. 3. Microelectronic implementation and result modeling of half single-digit adder: a) logical scheme, b) functional diagram of work.

As we can see on the functional diagram, the inputs a and b can take 4 different binary sets and at the outputs carry (P) and sum (S) signals are formed.

The hardware complexity of an single-digit full adder will be equal: $A_{FA} = 11$ (gates).

The time complexity of an single-digit full adder for the sum will be equal $\tau_{FA_S} = 6$ (micro-cycles) and for output transfer

$\tau_{FA_P} = 5$ (micro-cycles).

On Fig. 4 shown the microelectronics implementation of a full single-digit adder according to the scheme in Fig. 2b.

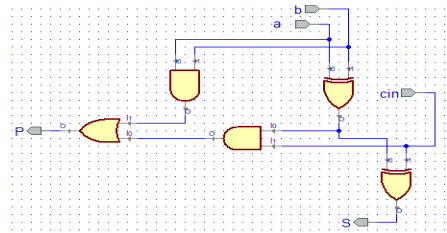


Fig. 4. Microelectronic implementation of full single-digit adder.

On Fig. 5 shown a functional diagram of the work of full single-digit binary adder.

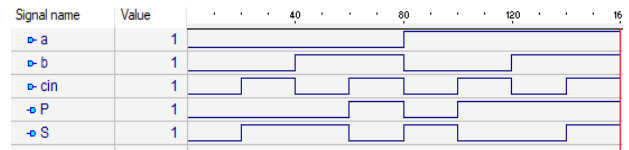


Fig. 5. Functional diagram of the full single-digit adder.

As we can see on the functional diagram, the inputs a, b and the carry input cin can take 8 different binary sets and at the outputs carry (P) and sum (S) signals are formed.

The hardware complexity of the binary squaring will be equal for $n=4$:

$$A_{BS} = A_{LE} \times n(\log_2 n + 1) - 6 + A_{FA} \times n + A_{HA} \times (n + 1) = 6 + 11 \times 4 + 5 \times 5 = 75(\text{gates})$$

The time complexity of the binary squaring will be equal for $n=4$:

$$\tau_{BS} = \tau_{FA_S} \times (2n - 5) + \tau_{HA_S} \times (2n - 5) = 6 \times 3 + 3 \times 3 = 27(\text{micro-cycles})$$

In works [6] advanced structures of single-digit full and half adder have been proposed (Fig.6).

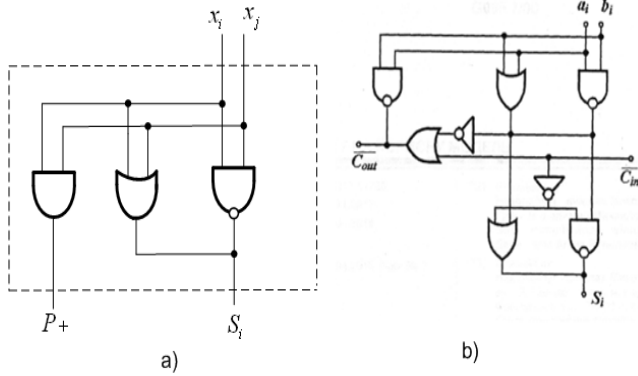


Fig. 6. The internal structure of the improved single-digit adders: a) half adders, b) full adders.

The hardware complexity of improved single-digit half adder will be equal $A_{+HA} = 3$ (gates).

The time complexity of improved single-digit half adder for the sum and for the output transfer will be equal:

$$\tau_{+HA_P} = \tau_{+HA_S} = 1 \text{ (micro-cycles).}$$

The hardware complexity of a single-digit full adder will be equal $A_{+FA} = 8$ (gates).

The time complexity of a single-digit full adder for the sum will be equal $\tau_{+FA_S} = 2$ (micro-cycles) and for output transfer

$$\tau_{+FA_P} = 3 \text{ (micro-cycles).}$$

The hardware complexity of the binary squaring, taking into account the improved structures of the adder, will be equal for n=4:

$$\begin{aligned} A_{BSM} &= A_{LE} \times n(\log_2 n + 1) - 6 + A_{FA} \times n + A_{HA} \times (n + 1) = \\ &= 6 + 8 \times 4 + 3 \times 5 = 53 \text{ (gates)} \end{aligned}$$

The time complexity of the binary squaring, taking into account the improved structures of the adder, will be equal for n=4:

$$\begin{aligned} \tau_{BSM} &= \tau_{FA_S} \times (2n - 5) + \tau_{HA_S} \times (2n - 5) = \\ &= 2 \times 3 + 1 \times 3 = 9 \text{ (micro-cycles)} \end{aligned}$$

In the analysis of system characteristics, binary squaring built on the basis of improved single-digit adders has a 1.4 times smaller hardware complexity and 3 times higher performance compared to classic adder. Throughput of the algorithmic binary squaring is 9 micro-cycles.

On Fig. 7 shown the conveyor structure of the binary squaring for 4-bit numbers.

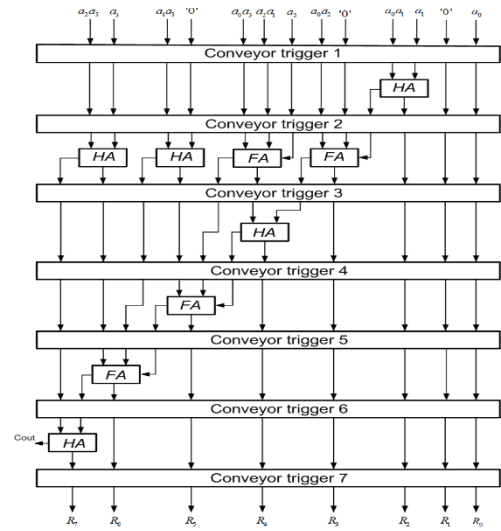


Fig. 7. The conveyor structure of 4-bit squaring.

The conveyor structure of a binary squaring device contains conveyor triggers that separate the independent adders of the binary squaring device, which are placed in the form of steps on different tiers [7].

The hardware complexity of the binary squaring will be equal for n=4:

$$\begin{aligned} A_{CBS} &= A_{LE} \times n(\log_2 n + 1) - 6 + A_{FA} \times n + A_{HA} \times (n + 1) + \\ &+ A_{trig} \times m = 6 + 11 \times 4 + 5 \times 5 + 2 \times 67 = 209 \text{ (gates)} \end{aligned}$$

where m - is the number of conveyor triggers, A_{Trig} - hardware complexity of the trigger, $A_{Trig} = 2$ (gates).

The time complexity of the binary squaring will be equal for n=4:

$$\begin{aligned} \tau_{CBS} &= \tau_{FA_S} \times (2n - 5) + \tau_{HA_S} \times (2n - 5) + k_{TPF} \times \tau_{trig} = \\ &= 6 \times 3 + 3 \times 3 + 7 \times 2 = 41 \text{ (micro-cycles)} \end{aligned}$$

where k_{TPF} - the number of tiers flow graph algorithm of the binary squaring; τ_{Trig} - time complexity of the trigger, $\tau_{Trig} = 2$ (micro-cycles).

In comparison with the algorithmic structure, the conveyor binary squaring has 2.8 times greater hardware complexity and 1.5 times greater time complexity. The throughput of the binary squaring is 5 micro-cycles.

IV. SPATIAL-TEMPORAL TRANSFORMATION OF BINARY SQUARING

When combining similar operations of a stream graph of a binary squaring with using spatial-temporal graphs you can get different types of multistep structures of the binary squaring.

Fig. 8 shows multistep binary squaring 8-bit recursive type.

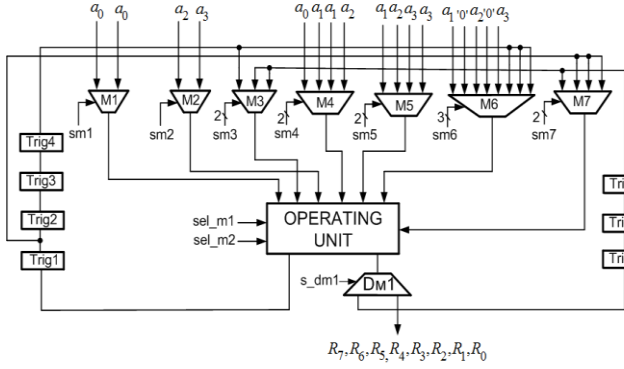


Fig. 8. Multistep recursive type 8-bit binary squaring.

Multiplexers (M1, M2, M3, M4, M5, M6) form the input interface and demultiplexers (DM1, DM2) output interface of multistep device. To control the operating unit, input and output interface it is required to build a control device.

Fig. 9 shows the internal structure of the multistep binary squaring.

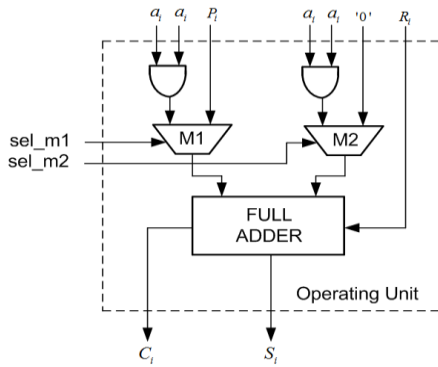


Fig. 9. Internal structure of the operating unit multistep recursive binary squaring.

The internal structure of the operation unit of the binary squaring consists of 3 logical elements 2AND, one full single-digit adder and two multiplexers that at the appropriate times depending on the values of the control signals (cm1_op, cm2_op) pass to the input of a one-digit adder results of the logical product and the interim sums and transfers.

The hardware complexity of recursive binary squaring will be equal for n=4:

$$A_{RBS} = \sum A_{Mux} + 2A_{Dmux} + m \times A_{Trig} + A_{Op_U} = 23 + 8 + 12 + 22 = 65(gates)$$

where A_{Mux} - hardware complexity of the binary squaring, A_{Dmux} - hardware complexity of the demultiplexers, A_{Op_U} - hardware complexity of the operating unit.

$$A_{Op_U} = A_{FA} + 3A_{LE} + A_{Mux3} + A_{Mux2} = 8 + 3 + 6 + 5 = 22(gates)$$

The time complexity of recursive binary squaring will be equal for n=8:

$$\tau_{RBS} = [(n^2+n)/\log_2 n] - 1 \times (\tau_{Mux} + \tau_{Op_U} + \tau_{Dmux} + \tau_{Trig}) = 9 \times (3 + 5 + 2 + 2) = 108(micro - cycles)$$

where τ_{Mux} - time complexity of the multiplexers, τ_{Dmux} - time complexity of the demultiplexers, τ_{Op_U} - time complexity of the operating unit.

In comparison with the conveyor structure, recursive binary squaring has 3.2 times less hardware complexity and 2.6 times less time complexity. The throughput of the recursive binary squaring is 108 cycles.

V. SYNTHESIS OF DEVELOPED BINARY SQUARING ON THE FPGA

Structures of the algorithmic, conveyor and recursive binary squaring are described in the language of hardware description - VHDL. The simulation of the developed structures of binary squaring devices at the functional level was carried out, their RTL schemes were obtained and the Xilinx FPGA synthesis was performed.

On Fig. 10 shown the microelectronics implementation of a 4-bit binary squaring, which consists of single-digit adders and logical elements "AND".

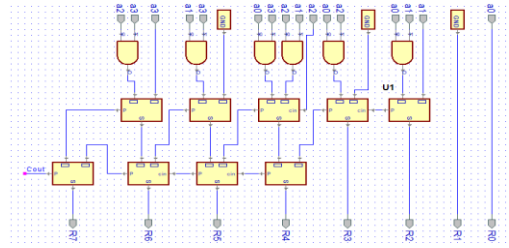


Fig. 10. Microelectronic implementation of the 4-bit binary squaring.

On Fig. 11 shows a functional diagram of the algorithmic 8-bit binary squaring device.

Signal name	Value	20	40	60	80	100	120	140	160
a_in	ED	FF	47	FF	78	98	C4	98	ED
Result	D809	E479	D81	F81	3840	0000	950	0024	D88

Fig. 11. Functional diagram of the 8-bit binary squaring.

On this diagram we can see that 8-bit integers numbers are send on inputs A, at the output of the RES, a 16-bit result of the raising a 8-bit number to a square is generated.

Table 2 presents the results of the synthesis of realized structures of binary squaring on the Xilinx FPGA (Artix7).

TABLE II. RESULTS OF SYNTHESIS OF DEVELOPED BINARY SQUARINGS ON THE FPGA

№	Type of Squaring Device (SD)	Number of FPGA blocks (CLB)	Clock frequency (MHz)
1.	Algorithmic SD	3250	183
2.	Conveyor SD	10456	235
3.	Recursive SD	2745	88

Binary squaring recursive type has 3.2 times less hardware complexity than conveyor SD and 1.2 times less hardware complexity than algorithmic SD. The speed of the recursive SD is 2.6 times less than in the conveyor SD.

CONCLUSION

The characteristics of the complexity of binary squaring with the use of improved structures of single-digit adders are investigated.

When comparing the recursive structure of a squaring device implemented on the basis of spatial-temporal graphs with algorithmic and conveyor squaring devices structure, the hardware complexity reduction was reduced by 3.2 times with a 2.6 times decrease of the speed, which is confirmed by the results of practical realization on the FPGA.

The results of theoretical and practical calculations can be used in the implementation of squaring devices of binary

numbers with a minimum number of hardware with non-critical time parameters.

REFERENCES

- [1] Hideharu Amano "Principles and Structures of FPGAs," Published in Springer Singapore, 2018, 231 p.
- [2] Vijay K. Madisetti "Digital Signal Processing Fundamentals," CRC Press, The Digital Signal Processing Handbook-Second Edition Series, 2009, 904 p.
- [3] Codes of Galois Field: theory and application: Monograph edited by Nykolaychuk Y. Ternpoil: LLC "Terno-graph", 2012. 576 p.
- [4] B. Zilker, S. Orlov Organization of computers and systems: Textbook for high schools, Peter, 2006, - 668 p.
- [5] Andrew S. Tanenbaum "Structured Computer Organization," Pearson, 6 edition, 2012, 808 p.
- [6] A. Davletova, Ya. Nykolaychuk "Half single-adder" Patent №115861 Ukraine IPC G06F 7/00, Publ. 25.04.2017, Bull. №8.
- [7] V. Gryga, I. Kogut, V. Holota, R. Kochan, S. Rajba, T. Gancarczyk, U. Iatsykovska Spatial-Temporal Transformation of Matrix and Multilayer Algorithms of Binary Number Multiplications // Proceedings of 10th IEEE International Conference IDAACS'2019. – Metz, France, September 18-21, 2019. – P. 691-694.

СЕКЦІЯ 7.

**Математичне та комп'ютерне моделювання
складних систем**

SECTION 7.

**Mathematical and computer modelling
of complex systems**

Simulation of the Control Process of the PID Controller for Safe Landing of a Quadcopter in Case of an Accident

Bohdan Blagitko, Yurij Mochulsky
Department of Radiophysics and Computer Technologies
Ivan Franko Lviv's National University
Lviv, Ukraine
blagitko@gmail.com, mochulsky@ukr.net

Ihor Zajachuk
Centre of Mathematical Modeling
Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics Ukrainian Academy of Science
Lviv, Ukraine
igorzaj@gmail.com

Моделювання Процесу Управління ПІД Контролером Безпечного Приземлення Квадрокоптера при Аварії

Богдан Благітко, Юрій Мочульський
Кафедра радіофізики та комп'ютерних технологій
ЛНУ імені Івана Франка
Львів, Україна
blagitko@gmail.com, mochulsky@ukr.net

Ігор Заячук
Центр математичного моделювання
ІППММ ім. Я.С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
igorzaj@gmail.com

Анотація — За допомогою математичного моделювання визначено основні особливості безпечного приземлення аварійного квадрокоптера у разі використання ПІД-контролера. Наведені результати моделювання приземлення квадрокоптера при виході з ладу однієї з чотирьох пар електродвигун-гвинт. Наведені значення вертикальних і горизонтальних швидкостей в момент приземлення в залежності від часу запізнення команди ПІД-контролера на приземлення.

Abstract — Basic features of a safe landing of an emergency quadcopter when using a PID controller are determined using mathematical modeling. The results of the simulation of quadcopter landing in case of failure of one of four pairs of an electric motor with screw are shown. The vertical and horizontal velocity values at the time of landing are presented, depending on the delay time of the PID controller command for landing.

Ключові слова— квадрокоптер; висотомір; 3-осьовий гіроскоп; 3-осьовий акселерометр; 3-осьовий магнітометр; ПІД контролер

Keywords— quadcopter; altimeter; 3-axis gyroscope; 3-axis accelerometer; 3-axis magnetometer; PID controller

I. INTRODUCTION

Preferably in articles dealing with quadcopter flight problems, it is assumed a priori that all four pairs of electric screw propellers and their control circuit are functional [1-3]. In practice, these or other faults in the sequence of links often occur: the control circuit is an electric motor-screw. When a malfunction suddenly occurs during a quadcopter flight, an emergency occurs.

The results of mathematical modeling of quadcopter emergency landings after the failure of one of the four pairs of motor-screw are presented in the following work [6]. A method of safely landing a quadcopter, in which one of four pairs of electric motor-screw unexpectedly was refused, was proposed [6, 7].

The implementation of the proposed method has significant drawbacks that make it impossible. After all, it is necessary to recognize the malfunctioning motor screw and to disconnect the motor power to the opposite end of the console motor malfunctioning pair. It all takes some time, which causes the team to be late. Besides, this method is modeled for PD controller use only.

The PID controller is most commonly used in real-time because of the advantages of this controller over PD controllers. This article discusses the main features of the impact of a team delay on the safe landing of an emergency quadcopter when using a PID controller.

II. SIMULATION OF THE QUADROPTER LANDING PROCESS IN THE CASE OF FAILURE OF ONE OF THE FOUR PAIRS OF ELECTRIC MOTOR-SCREW

The mathematical model of a quadcopter in flight, if all four pairs of electric motors - the screw and the control scheme are good, are considering as two, but fundamentally different mathematical models. The mathematical model of the quadcopter is a UAV, the inputs of which are supplied by the voltage of the motors, and the outputs are the height and angles of the roll, pitch, and yaw. The input vector is calculated by the microcontroller based on the state variables obtained at time t_i . The computation results are obtained with a delay of τ , that is, at time $t_i + \tau$. The mathematical model of the PID controller is a system in which the measured values from the altimeter sensors, heel angles, pitch, and yaw are entered, and the microcontroller implements the PID controller algorithm and outputs the voltage values of the motors.

The mathematical model of a quadcopter in flight, when all four pairs of motor-screw and control circuits are working, is described by a system of differential equations of the 16th order in the form of Cauchy [6].

In the event of failure of one of the four pairs of quadcopter motor-screw, the following cases are possible: failure of the nose-pair of the motor-screw; failure of the tail pair of the motor-screw; failure of the right pair of motor-screw; failure of the left pair of motor-screw. The fault simulation was performed by turning off the power of the faulty engine.

The implicit Runge-Kutta TR-BDF2 method was used to solve the differential equations of the mathematical model of the quadcopter (in the first stage of the equation they integrate by the trapezoid method, and in the second stage the formula of the second-order backward differentiation is used). The landing of the quadcopter occurs after it is at a height of 50m above the point with coordinates $X = 0, Y = 0$. The quadcopter at this time "hangs" motionless (the angles pitch and roll equal zero). The main parameters of the quadcopter: weight - 468g, distance from the center of mass to the motor - 22.5 cm, battery EMF - 11.1 V.

The "nose" of the quadcopter is directed in the plus direction along the X-axis. In this case, the initial values of the pitch and roll angles are zero and the yaw angle is 90° . Simulation of failure of a specific pair of screw motor-screw is carried out by assigning a supply voltage of the corresponding motor value of 0.0V for all time points $t \Rightarrow ta$, where ta is the moment of failure of a specific pair of motor-screw quadcopter.

III. RESULTS OF THE SIMULATION OF THE QUADROPTER LANDING PROCESS IN THE EVENT OF ONE OF THE FOUR PAIRS OF THE ELECTRIC MOTOR-SCREW

Fig. 1 (a) presents a graph of a sudden change in the height of a quadcopter from 50m to 5m when using a PD controller. Fig. 1 (b) presents a graph of a sudden change in the height of a quadcopter from 50m to 5m when using a PID controller. The following are the results of studies of the application of the proposed method [6, 7] when using only the PID controller.

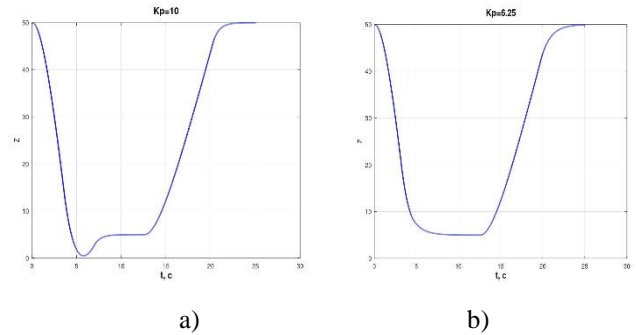


Fig. 1 Schedule of free fall of the quadcopter with PD controller (a) and with PID controller (b).

If by following the proposed method [6, 7], simultaneously with the failure of a particular engine, the power of the motor located at the opposite end of the same beam as the defective motor is turned off, then the fall time is 11.7s. The vertical landing speed in all cases of malfunctions is 5.6m/s.

The horizontal velocity components will be zero at all times, i.e. the quadcopter falls vertically downwards. The pitch and roll during the fall are zero, that is, the quadcopter always lands on the chassis. Because in this case the forces of the two running motors are not compensated for, the speed of rotation about the vertical axis at the moment of landing is 4.4 rad/s. Such an angular velocity will create an angular acceleration of 4.4m/s^2 at a distance of 22.5 cm from the center of mass.

As mentioned above, there is some delay in the team for detecting faults, deciding and turning off the power to the engine located at the opposite end of the same console as the faulty motor. As mentioned above, there is some delay in the team for detecting faults, deciding and turning off the power to the engine located at the opposite end of the same console as the faulty motor. In this case, it is necessary to enter the mathematical model of flight of the quadcopter a new variable *lag* [s]. In mathematical modeling, it will display the numerical value of the delay of the command to cut off the power of the engine, which is located on the opposite end of the same console, as the faulty motor.

The range of change of values of delay *lag* [s] of the command of the shutdown of the electric motor is chosen on values of the vertical component of speed at the moment of landing, the schedule of which is shown in Fig. 2. There are two extreme values of vertical velocity. The first case corresponds to a situation where no method is used to reduce the vertical

velocity. The other is consistent with the application of the proposed method.

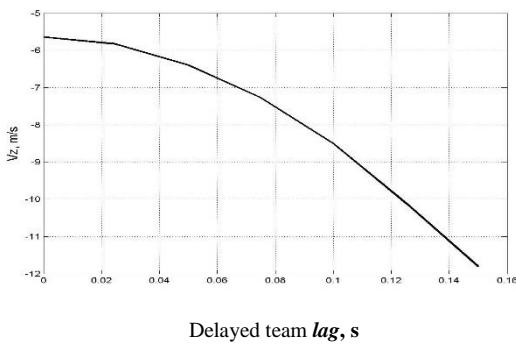


Fig. 2. The dependence of the vertical component of the speed at the time of landing of the quadcopter from the delay of the power cut command of the motor.

From table 1 it follows that in the event of a malfunction of the nose or tail motor, the quadcopter falls to the ground with the screws down (pitch angle is 180° , respectively). In this case, the vertical component of the landing speed is 12.7m/s. Non-zero values of the horizontal components of the landing speed cause additional danger. Depending on the coefficient of friction up the ground, the quadcopter will move for a while after landing.

TABLE 1. RESULTS OF THE SIMULATION OF THE PROCESS OF LANDING OF AN EMERGENCY QUADROPTER AT THE EXIT OF ONE OF THE FOUR MOTOR-SCREW COUPLES

Fail motor one of the four motors	Pitch	Roll	Yaw	V_x m/s	V_y m/s	V_z m/s
Nose motor	180°	40°	10°	0	1.47	-12.7
Right motor	-47°	180°	160°	-1.05	0.59	-12.7
Tail motor	180°	-33°	5°	0.03	-1.44	-12.7
Left motor	28°	-170°	-180°	1.1	-0.6	-12.7

Table 1 also shows that in the event of a right or left engine failure, the quadcopter falls with the screws down (roll angle is -180° , respectively). In this case, the vertical component of the landing speed is also 12.7m/s. As in the previous case, the non-zero values of the horizontal components of the landing speed cause additional danger. Depending on the coefficient of friction up the ground, the quadcopter will move on earth for a while after landing and will break the screws.

The results of mathematical modeling of the process of landing a quadcopter in the event of failure of one of the four pairs of quadcopter electric motor and the application of the proposed method of the safe landing of an emergency quadcopter are shown in Table II. If by following the proposed method, simultaneously with the faulty engine, the power of the motor located at the opposite end of the same beam as the defective motor is switched off, and then the fall time is 11.7s. The vertical landing speed in all cases of failure is 5.6 m/s. The horizontal components of the landing speed will be zero at all times, that is, the quadcopter falls vertically downwards. The pitch and roll during the fall are zero, that is, the quadcopter always lands on the chassis.

TABLE II. RESULTS OF SIMULATION OF THE PROCESS OF LANDING OF AN EMERGENCY QUADROPTER AT THE EXIT OF ONE OF THE FOUR MOTOR-SCREW COUPLES

Fail motor one of the four motors	Pitch	Roll	Yaw	V_x m/s	V_y m/s	V_z m/s
Nose motor	0°	0°	175°	0	0	-5.6
Right motor	0°	0°	5°	0	0	-5.6
Tail motor	0°	0°	175°	0	0	-5.6
Left motor	0°	0°	5°	0	0	-5.6

Between these extreme values of the vertical landing speed is the intermediate range of values, which is due to the amount of delay of the command to land the quadcopter.

In all articles [1-5] of quadcopter flight simulation, motions are considered as motions of a material point of mass m . To see not only the movement of the quadcopter's mass center but also its rotation during an emergency landing, the movement of two quadcopter points, the center of mass and the nasal engine were added here.

Fig. 3 presents graphs of the trajectories of the quadcopter landing process. Trajectories 2-4 reflect the case of a faulty left motor and off with a delayed right motor. Trajectories 5-7 reflect the case of a faulty right motor and off with a delayed left motor. Trajectory 1 reflects the process of landing a quadcopter in the event of any one of the motors failing and instantly shutting down the corresponding motor, that is, if the command $lag = 0.0s$ is delayed. Trajectories 2 and 5 reflect the process of landing a quadcopter when the commands $lag = 0.05s$ is delayed. Trajectories 3 and 6 reflect the process of landing a quadcopter when the commands $lag = 0.10s$ is delayed. Trajectories 4 and 7 reflect the process of landing a quadcopter when the commands $lag = 0.15s$ is delayed. The dotted line shows the trajectory of the center of mass of the quadcopter, and the line with markers shows the trajectory of the motion of the nasal engine.

Fig. 4 presents graphs of the trajectories of the quadcopter landing process. Trajectories 8-10 reflect the case of a faulty nasal motor and off with a delayed tail motor. Trajectories 11-13 reflect the case of a faulty tail motor and off with a delayed nasal motor. Trajectory 1 reflects the process of landing a quadcopter in the event of any one of the motors failing and instantly shutting down the corresponding motor, that is, if the command $lag = 0.0s$ is delayed. Trajectories 8 and 11 reflect the process of landing a quadcopter when the commands $lag = 0.05s$ is delayed. Trajectories 9 and 12 reflect the process of landing a quadcopter when the commands $lag = 0.10s$ is delayed. Trajectories 10 and 13 reflect the process of landing a quadcopter when the commands $lag = 0.15s$ is delayed. The dotted line shows the trajectory of the center of mass of the quadcopter, and the line with markers shows the trajectory of the motion of the nasal engine.

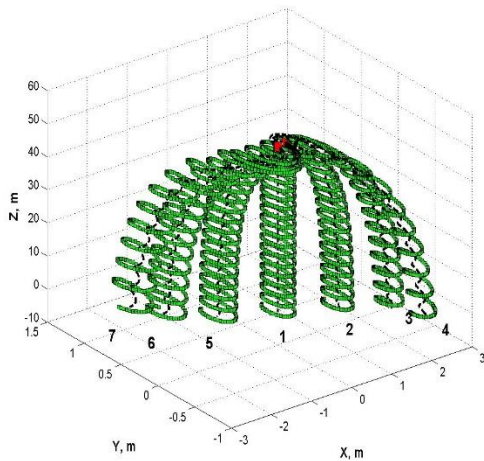


Fig. 3. Quadcopter motion paths with PID controller: 2-4 in case of failure of the left engine-screw pair; 3-7 - in case of failure of the right pair of engine-screw.

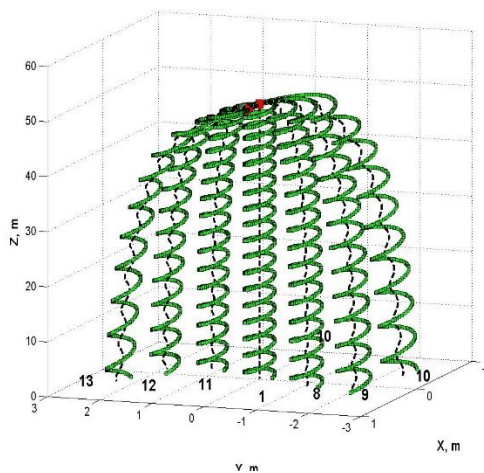


Fig. 4. Quadcopter motion paths with PID controller: 8-10 in case of failure of the nasal engine-screw pair; 11-13 - in case of failure of the tail pair of engine-screw.

IV. RESULTS OF THE SIMULATION OF THE QUADROPTER LANDING WITH THE DELAY OF THE PID CONTROLLER

The results of mathematical modeling of the process of landing a quadcopter in the event of failure of one of the four pairs of quadcopter electric propeller and the application of the proposed method for safe landing of an emergency quadcopter when the command to land $lag = 0.05s$ are shown in table III.

TABLE III. RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING OF A SAFETY LANDING OF AN EMERGENCY QUADROPTER AT $LAG = 0.05s$.

Fail motor one of the four motors	Pitch	Roll	Yaw	V_x m/s	V_y m/s	V_z m/s
Nose motor	-10°	-18°	-175°	-0.1	-0.15	-6.37

Right motor	19.5°	10°	-6°	0.17	0.11	-6.37
Tail motor	9.5°	19.5°	-174°	0.1	0.17	-6.37
Left motor	-19°	-8.2°	15°	-0.23	-0.038	-6.37

The results of mathematical modeling of the process of landing a quadcopter in the event of failure of one of the four pairs of quadcopter electric screw and the application of the proposed method of the safe landing of an emergency quadcopter when the command to land $lag = 0.15c$ are delayed are shown in table IV.

TABLE IV. RESULTS OF MATHEMATICAL MODELING OF A SAFETY LANDING OF AN EMERGENCY QUADROPTER AT $LAG = 0.15s$.

Fail motor one of the four motors	Pitch	Roll	Yaw	V_x m/s	V_y m/s	V_z m/s
Nose motor	4°	-51°	30°	-0.5	0.4	-10.2
Right motor	-48.5°	-5.6°	118°	-1.08	-0.38	-10.4
Tail motor	-4°	51°	30°	0.3	-0.4	10.23
Left motor	-51.6°	7.6°	67.4°	0.75	0.46	-10.7

CONCLUSION

If the delay of the command of the PID-regulator on landing does not exceed 0.05s, the safe landing of the emergency quadcopter is guaranteed. If more than 0.05s is delayed, the quadcopter will crash. The same results were obtained previously for the case of the regulator PD [7]. Therefore, the use of the PID controller in the event of failure of one pair of motor-screw does not give any advantage over the use of the regulator PD.

REFERENCES

- [1] M. Venkata Ganesh Babu, Dr. R. Srinu Naik. "Comparitive Analysis of P-I, I-P, PID and Fuzzy Controllers for Speed Control of DC Motor. On two approaches to the syntesis control system on the ship: optimal on time and proportional – differentia controller". Academic Journal. Control, Navigation ana Communication Systrm, no 3(110), pp. 80-85, 2009.
- [2] A. L. Salih, M. Moghavvemi, H. A. F. Mohamed, and K. S. Gaeid. "Flight PID controller design for a UAV quadrorotor". Academic Journals, Scientific Research and Essays, vol. 5(23), pp. 3660-3667, 2010.
- [3] B. Kada and Y. Ghazzawi. "Robust PID Controller Design for a UAV Flight Control System". Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. 19-21 October 2011, San Francisco, USA: proceedings: WCECS, vol. II, 2011, pp. 945-950.
- [4] H. Bolandi, M. Rezaei, R. Monsenipour, H.Nemati, and S. M. Smailzadeh. "Attide Control of Quadrotor with Optimized PID Controller". Intelligent Control and Automation, 4, pp. 335-342, 2013.
- [5] D. Kuchеров, A. Kozub, A. Rasstrygin. "Setting the PID Controller for Controolling Quadrorotor Flight: a Gradient Approach". 2018 IEEE 5th International Conference "Metods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC): proceedings, October 13-18, 2018, Kyiv, Ukraine.
- [6] B. Blagitko, Yu. Mochulsky. "Enchuring the Safe Landing of the Quadrocopter in an Accident". 2018 IEEE 5th International Conference "Metods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC): proceedings, October 13-18, 2018, Kyiv, Ukraine. // _Electronics and Control Systems. – 2018. – N 3(57). – P. 142-147. DOI: 10.18372/1990-5548.57.13251
- [7] Blagitko B., Y. Mochulsky, Modeling the process of controlling the PD controller for safe landing of a quadcopter in case of an accident / B. J. Blagitko, Y. S. Mochulsky, I. M. Zajachuk// "Information Technologies and Computer Modelling" proceedings of the International Scientific Conference 2019, May, 20th to 25th Ivano-Frankivsk 2019.–C. 235-238.

Застосування Робототехніки для Обстеження Шахти

Ольга Гаврилюк

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

Сергій Іовов

відділ № 265 математичних проблем прикладної
інформатики
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України
Київ, Україна
5264359@mail.ru

Надія Чумакова

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

Robotics Application for Mine Inspection

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

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

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
5264359@mail.ru

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
bronata@ukr.net

Анотація—В роботі проаналізовано використання робототехнічних систем в задачах, високоактуальних для підвищення безпеки в українській вугледобувній галузі.

Abstract—The work analyzes the use of robotic systems in tasks of high importance for increasing the safety in the Ukrainian coal industry

Ключові слова—робототехнічні системи; вугільні шахти; підвищення безпеки; сплайни; 3D-моделювання

Keywords—robotic systems; coal mines; increased security; splines; 3D-modeling

I. ВСТУП

У даній роботі проаналізовано завдання, високоактуальні для підвищення безпеки в вугледобувній галузі України з точки зору підтримки гірничорядувальних робіт засобами інтелектуалізованої робототехніки. Розглянуто деякі питання створення програмно-апаратної частини моделювання та функціонування роботів для обстеження завалів і аварійно-небезпечних ділянок в шахтах. Розглянуто завдання розробки «гірничорядувального інтелектуалізованого робота-розвідника (ГОСІР)» [1].

II. Основні вимоги до створюваної робототехніки для вугільної шахти

- A. Виключення електрообладнання, яке несе ризик електроіскріння, що може призвести до вибуху у метанопиловугільній атмосфері шахти.
- B. Набір бортових сенсорів для контролю шахтної атмосфери (метан, вуглекислий газ, вугільний пил, кисень, чадний газ, вологість).
- C. Комплекс далекомірів для обстеження і створення 3D-моделі обстежуваного шахтного завалу.
- D. Бортовий навігаційний комплекс, що забезпечує роботу можливість рухатися автономно та відповідно до поставленого програмою маршрутного завдання при використанні даних 3D-моніторингу.
- E. Бортовий радіотехнічний комплекс зв'язку, що забезпечує радіозв'язок з віддаленим оператором для консультацій в нестандартних ситуаціях.
- F. Бортовий маніпулятор для виконання в необхідних випадках робіт зі створення вузьких технологічних проходів або «отворів» (надання допомоги гірникам, ізольованим обвалом, передача медикаментів, засобів зв'язку, продуктів харчування, води, пакетів індивідуального або колективного порятунку та іншої екстреної допомоги), забезпечення виконання операцій по захопленню об'єктів обмеженої ваги (проби порід, компоненти зруйнованого обладнання та інше).

III. ОСНОВНІ ФУНКЦІИ БОРТОВОГО ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ

- Контроль шахтної атмосфери.
- Розпізнавання вихідної отриманої бортовими сенсорами моніторингової інформації.
- Ухвалення доцільних рішень в автономному режимі.
- Формування 3D-поверхні обстежуваної зони.
- Нанесення на 3D-поверхню обстежуваної зони перешкод, вузьких та непрохідних роботом зон.
- Формування файлу стану шахтної атмосфери з координатною прив'язкою до стартової нерухомої системи координат.

Побудову математичної моделі за даними 3D-моніторингу пропонується здійснити за допомогою 4-променевого лазерного далекоміру, описаного в роботі науковців відділу [2].

IV. МЕТОД МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

Вихідний файл даних (Dot_3D), отриманий в результаті вимірювання відстаней до перешкод далекомірами, записується в пам'ять бортового комп'ютеру. Файл Dot_3D далі використовується спеціальною програмою PRIZM_3D, яка апроксимує тим чи іншим математичним агрегатом точково задану поверхню і формує 3D-образ

обстежуваного приміщення. Програма OPTIM_TRAJ формує спільно з програмою PRIZM_3D варіанти оптимального маршруту робота з урахуванням наявності перешкод і вузьких місць. Варіанти сплайнів для руху самого робота можна отримати, використовуючи програму PRIZM_3D, що моделює обстежувану поверхню кінцевими елементами. У більшості випадків достатньо отримати апроксимацію в формі кусочно-плоскої поверхні, складеної з множини дотичних призм або як перетин просторових площин.

У більш складному випадку (наприклад, при виконанні отворів в породі спеціальним бортовим буром з пункту F вимог розділу II) необхідно скористатися програмою 3D_SPLINE, що забезпечує побудову безперервної разом з першою похідною поверхні, заснованої на тривимірній сплайн-інтерполяції.

Для розробки типових інтелектуалізованих роботів-розвідників розглянуто методи побудови траєкторії мобільного робота з механічним багатоланковим маніпулятором для підбору оптимальних параметрів ланок на рівні комп'ютерного імітаційного моделювання для задач функціонування в обмежених просторових умовах шахти. Типовий приклад обстеження: розвідка інтер'єру інженерної споруди після аварії, коли виникає додаткова проблема обстеження принципової зміни інтер'єру (як результат аварії) стислого робочого приміщення при невідомій новій конфігурації можливих проходів.

Виходячи з вищесказаного, комплексу ГОСІР поставлена багатоконпонентна завдання, що складається з взаємозв'язаних часткових завдань:

- пройти всередину шахти;
- побудувати 3D-карту «оновленої» місцевості;
- правильно вигнутися потрібними шарнірами маніпулятору;
- знайти і захопити (або ввімкнути / вимкнути) потрібний предмет (або тумблер / кнопку / важіль / кран).

Метою імітаційного моделювання є розрахунок ряду типових прикладів, – ситуацій для вибору кількості, довжини ланок і кутів орієнтації системи управління маніпулятору та для професійного навчання користувачів роботі з пристроєм.

Імітаційне моделювання передбачає вирішення таких завдань:

- пошук оптимальної довжини сегменту маніпулятору;
- визначення траєкторії захоплення маніпулятору для відомої заздалегідь конфігурації тунелю;
- реалізація руху захоплення маніпулятору за побудованою траєкторією при заздалегідь відомій конфігурації тунелю;
- реалізація руху захоплення маніпулятору методом перевірки зіткнень сфери безпеки з поверхнями тунелю на кожному кроці. Якщо зіткнення сталося, тоді здійснюється

поворот ланки маніпулятора. Цей метод використовується, якщо конфігурація тунелю заздалегідь невідома;

- визначення кутів шарнірів на кожному кроці.

V. МЕТОДИ ПОБУДОВИ ШЛЯХУ РУХУ МАНІПУЛЯТОРУ КРИЗЬ ТУНЕЛЬ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ КУБІЧНІ СПЛАЙНИ

В роботі розглядається класичний (обчислення матриці і побудови сплайну) і вдосконалений метод. Суть останнього методу полягає в ефективному обчисленні моментів $\{M_j\}_0^N$ за допомогою комп'ютеру методом прогонки. Послідовне застосування цього методу кілька разів дозволяє звести задачу про звернення трьохдіагональної матриці A високої розмірності до простого завдання про обернення однієї або двох матриць малої розмірності [1].

Для апроксимації отриманих сплайн-функцій з метою побудови траєкторії маніпулятора інтелектуалізованого роботу слід використовувати другий вдосконалений метод. Він має зменшену кількість операцій розрахунку без зниження точності за рахунок скорочення кількості кроків прогонки матриці в два рази. Метод дозволяє записати алгоритм управління кутами шарнірів маніпулятора на бортовий комп'ютер системи управління інтелектуальним роботом.

ВИСНОВОК

В роботі проаналізовано реальні завдання, актуальні для підвищення безпеки у вуглевидобувній галузі України шляхом застосування засобів інтелектуалізованої робототехніки для підтримки гірничорятувальних робіт. Розглянуто деякі питання створення програмно-апаратної частини моделювання та функціонування роботів для обстеження завалів і аварійно-небезпечних ділянок в шахтах (на прикладі вугільних).

Наведено порівняння двох методів для побудови шляху багатоланкового маніпулятора крізь тунель, що використовують кубічні сплайни. Методи є елементом САПР для створення багатоланкових роботів - маніпуляторів, здатних за рахунок комбінованої взаємодії ланок у часі і просторі рухатися уздовж траєкторії, забезпечуючи мінімальне відхилення від оптимальної ідеально гладкої кривої.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В.Г. Писаренко, Ю.В. Писаренко, Е.Ю. Мелкумян, А.С. Коваль, "Применение робототехники для обследования шахты после обвала", *Ж. "Штучний інтелект"*, №4, С. 528-534, 2010. V. Pisarenko, J. Pisarenko, E. Malkumyan, A. Koval. "The Application of Robotics for Inspection of Mine After Collapse", *J. "Artificial Intelligence"*, №4, pp. 528-534, 2010.
- [2] V. Pisarenko, I. Varava, J. Pisarenko, V. Prokopchuk, "Information models for robotics system with intellectual sensor and self-organization", "Knowledge-Dialog-Solution", *FOI-commerce, Sophia*, vol. 2, 2005 [Conf. Knowledge-Dialog-Solution (KDS), Bulgaria, Varna, 2005].

Вплив Неоднорідного Механічного Навантаження на Електростатичне Поле Порожнистого Діелектричного Циліндра

Ольга Грицина

Відділ механіки, Інститут будівництва та архітектури
Словацької академії наук, Братислава, Словаччина;
Відділ математичних методів обчислювального експерименту,
Центр математичного моделювання Інституту прикладних проблем
механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України, Львів, Україна
usarolha@savba.sk, hrytsyna.olha@gmail.com

The Effect of Non-Uniform Mechanical Load on the Electrostatic Field of a Hollow Dielectric Cylinder

Olha Hrytsyna

Department of Mechanics, Institute of Construction and Architecture,
Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia;
Department for Mathematical Methods of Computing Experiment,
Center of Mathematical Modeling of Pidstryhach Institute for Applied Problems
of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine
usarolha@savba.sk, hrytsyna.olha@gmail.com

Анотація — З використанням співвідношень локально градієнтної електромеханіки поляризованих неферомагнітних середовищ знайдено аналітичний розв'язок задачі для порожнистого п'єзоелектричного ізотропного циліндра під дією тиску. Розв'язок кількісно та якісно відрізняється від такого, отриманого в межах класичної теорії. Показано, що, навіть за відсутності зовнішнього електричного джерела, циліндр може поляризуватися внаслідок його неоднорідного деформування.

Abstract — Based on relations of local gradient electromechanics of polarized non-ferromagnetic media, the problem of a pressurized hollow dielectric isotropic cylinder is analytically solved. The solution is quantitatively and qualitatively different from the ones obtained within the classical theory. It is shown that in the absence of an outside electric source, the hollow cylinder can polarize due to its non-homogeneous deformation.

Ключові слова — локально градієнтна теорія; електромеханічна взаємодія; діелектричний ізотропний матеріал; флексоелектричний ефект.

Keywords — local gradient theory; electromechanical coupling, isotropic dielectric media, flexoelectric effect.

I. ВСТУП

Класична теорія електропружності не передбачає зв'язку механічних полів та електростатичного поля у центросиметричних кристалах та ізотропних матеріалах. Однорідна деформація діелектриків центросиметричної структури не спричиняє їх поляризацію. Однак, якщо такі кристали піддати неоднорідній деформації, то вони поляризуються. Це явище отримало назву флексоелектричного ефекту і вперше було досліджене у працях Машкевича і Топтиго [1]. Для опису флексоелектричного ефекту у межах континуальної механіки розробляли узагальнені (градієнтного типу) теорії, у тому числі градієнтну теорію деформації [2, 3].

Покажемо, що на відміну від класичної теорії, локально градієнтна теорія діелектриків описує флексоелектричний ефект у діелектричних ізотропних тілах. Локально градієнтна теорія ґрунтується на врахуванні взаємозв'язку механічних та електромагнітних процесів із процесом локального зміщення маси [4, 5]. У межах цієї теорії локальне зміщення маси пов'язано зі зміною мікроструктури матеріалу фізично малого елемента тіла.

II. ВИХІДНІ СПІВВІДНОШЕННЯ МОДЕЛЬНОГО ОПИСУ

Система рівнянь локально градієнтної електротермомеханіки неферромагнітних діелектриків сформульована в [4, 5]. Для лінійного стаціонарного ізотермічного наближення ця система охоплює:

- балансові рівняння

$$\nabla \cdot \hat{\boldsymbol{\sigma}} + \rho_0 \mathbf{F} = 0, \quad (1)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = 0, \quad \nabla \cdot \mathbf{D} = 0, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{\pi}_m + \rho_m = 0, \quad (3)$$

- градієнтного типу визначальні співвідношення

$$\hat{\boldsymbol{\sigma}} = \rho_0 \left. \frac{\partial u}{\partial \hat{\boldsymbol{\varepsilon}}} \right|_{\boldsymbol{\pi}_e, \boldsymbol{\pi}_m, \rho_m}, \quad \mathbf{E} = \left. \frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{\pi}_e} \right|_{\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}, \boldsymbol{\pi}_m, \rho_m}, \quad (4)$$

$$\mu'_\pi = \left. \frac{\partial u}{\partial \rho_m} \right|_{\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}, \boldsymbol{\pi}_e, \boldsymbol{\pi}_m}, \quad \nabla \mu'_\pi = - \left. \frac{\partial u}{\partial \boldsymbol{\pi}_m} \right|_{\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}, \boldsymbol{\pi}_e, \rho_m}, \quad (5)$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E} + \rho_0 \boldsymbol{\pi}_e, \quad (6)$$

- кінетичні рівняння

$$\hat{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{1}{2} \left[\nabla \otimes \mathbf{u} + (\nabla \otimes \mathbf{u})^T \right], \quad (7)$$

$$\mathbf{E} = -\nabla \varphi. \quad (8)$$

Тут $\hat{\boldsymbol{\sigma}}$ і $\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}$ – тензори напружень і деформації; \mathbf{u} – вектор переміщення; \mathbf{F} – масова сила; ρ_0 – густина маси; ρ_m – питома густина наведеної маси; \mathbf{E} та \mathbf{D} – вектори напруженості та індукції електричного поля; $\boldsymbol{\pi}_e$ – питомий вектор поляризації; φ – електричний потенціал; $\boldsymbol{\pi}_m$ – питомий вектор локального зміщення маси; $\mu'_\pi = \mu'_\pi - \mu$; μ – хімічний потенціал; μ_π – енергетична міра впливу локального зміщення маси на внутрішню енергію системи; $u(\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}, \boldsymbol{\pi}_e, \rho_m, \boldsymbol{\pi}_m)$ – узагальнена внутрішня енергія; ε_0 – електрична стала; крапкою позначено скалярний добуток; \times і \otimes – векторний і діадний добуток, відповідно; ∇ – оператор Гамільтона.

III. ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ

Розглянемо безмежне порожнє осесиметричне циліндричне тіло, яке у циліндричній системі координат (r, φ, z) займає область $R_1 \leq r \leq R_2$. Нехай вісь z співпадає з віссю циліндра. Вважаємо, що тіло контактує з зовнішнім середовищем, яке описуватимемо у наближенні вакууму. Зовнішня поверхня $r = R_2$ ізотропного діелектричного циліндра перебуває під дією рівномірного тиску σ_* , тоді як його внутрішня поверхня $r = R_1$ – вільна від навантаження. Вивчимо напружений стан та збурення електростатичного поля, яке виникає у циліндрі внаслідок такого неоднорідного деформування.

З огляду на тип зовнішнього навантаження, за ключові функції зручно взяти тензор напружень $\hat{\boldsymbol{\sigma}}$, модифікований хімічний потенціал $\tilde{\mu}'_\pi$, а також вектори напруженостей електричного поля у тілі \mathbf{E} та вакуумі \mathbf{E}_v . Вважаємо, що задача характеризується осью симетрії і згадані функції, а також вектор переміщень \mathbf{u} залежать лише від радіальної координати, тобто $\hat{\boldsymbol{\sigma}} = \hat{\boldsymbol{\sigma}}_{ij}(r)$, $\mathbf{u} = (u_r(r), 0, 0)$, $\tilde{\mu}'_\pi = \tilde{\mu}'_\pi(r)$, $\mathbf{E} = (E_r(r), 0, 0)$, $\mathbf{E}_v = (E_{rv}(r), 0, 0)$.

Ненульові компоненти тензора деформації $\hat{\boldsymbol{\varepsilon}}$ визначаються формулами:

$$\varepsilon_{rr} = \frac{du_r}{dr}, \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{u_r}{r}. \quad (9)$$

Для ізотропного матеріалу визначальні співвідношення (4) і (5) для компонент тензора напружень, вектора поляризації, вектора локального зміщення маси та густини наведеної маси запишемо так

$$\sigma_{rr}(r) = (\lambda + 2\mu) \varepsilon_{rr} + \lambda \varepsilon_{\varphi\varphi} - \alpha_\mu \tilde{\mu}'_\pi, \quad (10)$$

$$\sigma_{\varphi\varphi}(r) = (\lambda + 2\mu) \varepsilon_{\varphi\varphi} + \lambda \varepsilon_{rr} - \alpha_\mu \tilde{\mu}'_\pi, \quad (11)$$

$$\sigma_{zz}(r) = \lambda (\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\varphi\varphi}) - \alpha_\mu \tilde{\mu}'_\pi, \quad (12)$$

$$\pi_e(r) = \chi_E E_r - \chi_{Em} \frac{d\tilde{\mu}'_\pi}{dr}, \quad (13)$$

$$\pi_m(r) = -\chi_m \frac{d\tilde{\mu}'_\pi}{dr} + \chi_{Em} E_r, \quad (14)$$

$$\rho_m(r) = \frac{\alpha_\mu}{\rho_0} (\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\varphi\varphi}) + d_\mu \tilde{\mu}'_\pi. \quad (15)$$

Тут σ_{rr} , $\sigma_{\varphi\varphi}$ та σ_{zz} – ненульові компоненти тензора напружень; $\pi_m(r)$ та $\pi_e(r)$ – радіальні компоненти векторів локального зміщення маси $\boldsymbol{\pi}_m$ та електричного заряду (поляризації) $\boldsymbol{\pi}_e$; λ і μ – коефіцієнти Ляме; α_μ – коефіцієнт об'ємного розширення, спричиненого локальним зміщенням маси; χ_m – коефіцієнт, який характеризує локальне зміщення маси, зумовлене градієнтом потенціалу $\tilde{\mu}'_\pi$; d_μ – ізохоричний коефіцієнт залежності питомої густини наведеної маси від модифікованого хімічного потенціалу μ'_π ; χ_{Em} – коефіцієнт, який характеризує поляризацію тіла, зумовлену градієнтом потенціалу $\tilde{\mu}'_\pi$.

Для одномірної задачі, яку розглядаємо тут, система балансових рівнянь (1)-(3) набуває вигляду:

$$\frac{d\sigma_{rr}}{dr} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}}{r} = 0 \quad \text{або} \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \frac{d(r\sigma_{rr})}{dr}, \quad (16)$$

$$\rho_m + \frac{1}{r} \frac{d(r\pi_m)}{dr} = 0, \quad (17)$$

$$\frac{d(rD_r)}{dr} = 0, \quad \frac{d(rD_{rv})}{dr} = 0. \quad (18)$$

Тут

$$D_r = \varepsilon_0 E_r + \rho_0 \pi_e, \quad D_{rv} = \varepsilon_0 E_{ev}. \quad (19)$$

Отримаємо рівняння Бельтрамі-Мітчелла. З цією метою, ґрунтуючись на рівняннях (10) і (11), запишемо

$$\varepsilon_{rr} = \frac{1}{E_1} (\sigma_{rr} - \nu_1 \sigma_{\varphi\varphi}) + \alpha_{\mu 1} \tilde{\mu}'_{\pi}, \quad (20)$$

$$\varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{E_1} (\sigma_{\varphi\varphi} - \nu_1 \sigma_{rr}) + \alpha_{\mu 1} \tilde{\mu}'_{\pi}. \quad (21)$$

Тут

$$\nu_1 = \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu}, \quad E_1 = \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu}, \quad \alpha_{\mu 1} = \frac{\alpha_{\mu}}{2(\lambda + \mu)}.$$

Наслідком формул (9) є рівняння

$$\varepsilon_{rr} = \frac{d(r\varepsilon_{\varphi\varphi})}{dr}. \quad (22)$$

Якщо у формулу (22) підставити вирази (20) і (21), врахувати рівняння рівноваги (16), то отримаємо

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d(r^2 \sigma_{rr})}{dr} + E_1 \alpha_{\mu 1} \tilde{\mu}'_{\pi} \right] = 0. \quad (23)$$

Формули (20) і (21) за врахування рівняння рівноваги (16) дозволяють визначити об'ємну деформацію

$$\varepsilon_{rr} + \varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{(1 - \nu_1) d(r^2 \sigma_{rr})}{r E_1 dr} + 2\alpha_{\mu 1} \tilde{\mu}'_{\pi}. \quad (24)$$

З огляду на вираз (24), рівняння стану (15) для густини наведеної маси модифікується так

$$\rho_m = \frac{\alpha_{\mu} (1 - \nu_1) d(r^2 \sigma_{rr})}{r \rho_0 E_1 dr} + d_{\mu} \left[1 + \frac{\alpha_{\mu}^2}{\rho_0 d_{\mu} (\lambda + \mu)} \right] \tilde{\mu}'_{\pi}. \quad (25)$$

Підставивши формули (14) і (25) у рівняння балансу наведеної маси (17), одержимо

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{d\tilde{\mu}'_{\pi}}{dr} \right) - \lambda_0^2 \left[1 + \frac{\alpha_{\mu}^2}{\rho_0 d_{\mu} (\lambda + \mu)} \right] \tilde{\mu}'_{\pi} = \\ & = \frac{\alpha_{\mu} (1 - \nu_1) d(r^2 \sigma_{rr})}{r \rho_0 E_1 \chi_m dr} + \frac{\chi_{Em} d(rE_r)}{r \chi_m dr}. \end{aligned} \quad (26)$$

Тут $\lambda_0^2 = d_{\mu} / \chi_m$.

Щоб визначити електростатичне поле, яке виникає у діелектричному тілі, ми повинні знайти розв'язки рівнянь

$$\frac{d}{dr} \left[r \left(E_r - \kappa_E \frac{d\tilde{\mu}'_{\pi}}{dr} \right) \right] = 0 \quad (R_1 < r < R_2); \quad (27)$$

$$\frac{d(rE_{rv}^{(1)})}{dr} = 0 \quad (0 \leq r < R_1), \quad \frac{d(rE_{rv}^{(2)})}{dr} = 0 \quad (r > R_2), \quad (28)$$

які отримані шляхом підставлення визначальних співвідношень (19), (13) у рівняння (18). У рівнянні (27) використано позначення

$$\kappa_E = \frac{\rho_0 \chi_{Em}}{\varepsilon_0 + \rho_0 \chi_E}.$$

Отже, для визначення рівноважного розподілу функцій σ_{rr} , E_r , $E_{rv}^{(1)}$, $E_{rv}^{(2)}$ та $\tilde{\mu}'_{\pi}$ маємо рівняння (23), (26)-(28). Для забезпечення однозначності розв'язку до цієї системи рівнянь слід додати крайові умови на поверхні циліндричної оболонки:

$$r = R_1: \quad \sigma_{rr} = 0, \quad \varepsilon_0 [E_r - E_{rv}^{(1)}] + \rho_0 \pi_e = 0, \quad \tilde{\mu}'_{\pi} = -\mu'_{\pi 0}, \quad (29)$$

$$r = R_2: \quad \sigma_{rr} = -\sigma_*, \quad \varepsilon_0 [E_r - E_{rv}^{(2)}] + \rho_0 \pi_e = 0, \quad \tilde{\mu}'_{\pi} = -\mu'_{\pi 0}. \quad (30)$$

Зазначимо, що останні співвідношення в (29) і (30) відповідають умові рівності нулю абсолютного значення потенціалу $\mu'_{\pi} = \tilde{\mu}'_{\pi} + \mu_{\pi 0}$ (оскільки циліндр контактує з вакуумом, а $\mu'_{\pi v} = 0$).

Сформульовану вище систему рівнянь вдається розділити і розв'язати послідовно. При цьому для знаходження напружень та модифікованого хімічного потенціалу отримаємо крайову задачу, а для знаходження векторів напруженості електричного поля у тілі та вакуумі – контактну.

IV. РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ ТА ЙОГО АНАЛІЗ

Якщо з рівняння (23) за допомогою (26) і (27) виключити радіальні напруження σ_{rr} і напруженість електричного поля E_r , то для знаходження функції $\tilde{\mu}'_{\pi}$ отримаємо однорідне диференціальне рівняння третього порядку

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{d^2 \tilde{\mu}'_{\pi}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\tilde{\mu}'_{\pi}}{dr} - \xi^2 \tilde{\mu}'_{\pi} \right) = 0. \quad (31)$$

Тут

$$\xi^2 = \lambda_E^2 (1 + \mathcal{M}), \quad \lambda_E^2 = \frac{\lambda_0^2}{1 - \kappa_E \chi_{Em} / \chi_m},$$

$$\mathcal{M} = \frac{b}{\lambda + 2\mu}, \quad b = \frac{\alpha_{\mu}^2}{\rho_0 d_{\mu}}.$$

Загальний розв'язок рівняння (31) має вигляд

$$\tilde{\mu}'_{\pi}(r) = A_1 I_0(\xi r) + A_2 K_0(\xi r) - A_0, \quad (32)$$

де $I_i(r)$, $K_i(r)$ ($i = 0, 1$) – модифіковані функції Бесселя першого та третього родів i -го порядку (функції Макдональда).

Відповідно для знаходження функцій σ_{rr} , E_r і E_{rv} маємо формули

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} = \frac{\rho_0 d_{\mu}}{\alpha_{\mu}} \left\{ A_0 (\lambda + \mu + b) - 2\mu \frac{A_3}{r^2} - \right. \\ \left. - \frac{2\mu \mathcal{M}}{\xi r} [A_1 I_1(\xi r) - A_2 K_1(\xi r)] \right\}, \end{aligned} \quad (33)$$

$$E_r = \frac{A_4}{r} + \xi \kappa_E [A_1 I_1(\xi r) - A_2 K_1(\xi r)], \quad (34)$$

$$E_{rv}^{(1)} = 0, \quad E_{rv}^{(2)} = -\frac{A_2}{r^2}. \quad (35)$$

Тут A_i , $i = \overline{0,5}$ – невідомі сталі, які визначаємо з граничних і контактних умов (29) і (30).

Компоненту тензора напружень $\sigma_{\varphi\varphi}$ обчислюємо на основі формул (16) і (33). Напруження σ_{zz} знаходимо з рівняння стану (12), виразу для об'ємної деформації (24) і формули (32) і (33). Компоненту π_e вектора поляризації знаходимо з використанням формул (13), (32) і (34).

Із рівнянь електростатики (27) і (28) і умов контакту (29₂), (30₂) отримаємо нульовий вектор індукції електричного поля у тілі і вакуумі. Водночас у тілі індуктується збурення вектора напруженості електричного поля (34). Внаслідок неоднорідного деформування порожнистого циліндра, його стінки поляризуються

$$\pi_e(r) = -\frac{\varepsilon_0 \chi_{Em} \xi}{\varepsilon_0 + \rho_0 \chi_E} [A_1 I_1(\xi r) - A_2 K_1(\xi r)]. \quad (36)$$

Тут

$$\begin{aligned} A_1 &= A_* [K_0(\xi R_2) - K_0(\xi R_1)], \\ A_2 &= A_* [I_0(\xi R_1) - I_0(\xi R_2)], \\ A_* &= \frac{1}{\Omega} \left[\frac{\sigma_* \alpha_\mu R_2^2}{\rho_0 d_\mu (\lambda + \mu + b) (R_1^2 - R_2^2)} - \mu_{\pi 0} \right], \quad (37) \\ \Omega &= I_0(\xi R_1) K_0(\xi R_2) - I_0(\xi R_2) K_0(\xi R_1) + \\ &+ a_0 \{ [R_1 K_1(\xi R_1) - R_2 K_1(\xi R_2)] [I_0(\xi R_1) - I_0(\xi R_2)] + \\ &+ [R_1 I_1(\xi R_1) - R_2 I_1(\xi R_2)] [K_0(\xi R_1) - K_0(\xi R_2)] \}, \\ a_0 &= \frac{b(1 - \nu_1)}{\xi(\lambda + \mu + b)(R_1^2 - R_2^2)}. \end{aligned}$$

Аналіз формул (36) і (37) показує, що поляризація стінок циліндричного тіла зумовлена зовнішнім тиском на поверхню циліндра (доданки, пропорційні σ_*), а також поверхневими ефектами (доданки, пропорційні $\mu_{\pi 0}$).

У результаті поляризації стінок циліндра на його поверхнях $r = R_1$ та $r = R_2$ виникає наведений електричний заряд $\pi_e(R_1)$ та $\pi_e(R_2)$. Отже, формули (34) і (36) описують флексоелектричний ефект. У рамках локально градієнтної теорії флексоелектричний ефект зумовлений взаємозв'язком між процесами механічного деформування, локального зміщення маси та електричної поляризації. Слід зазначити, що флексоелектричний ефект у загальному нехтовно малий у макроскопічних системах. Однак у малорозмірних тілах (дротах, волокнах тощо) градієнт деформації може вагомо впливати на зв'язані поля у них, а відтак, вплив флексоелектричного ефекту у таких тілах зростає. Покажемо це на прикладі формули для наведеного електричного заряду $\pi_e(R_2)$. З використанням розкладів функцій Макдональда для великих значень їх аргументу, для достатньо великих значень радіуса R_1 та малих відносних товщин стінок δ , де $\delta = \delta_1/R_1$, а

$\delta_1 = R_2 - R_1$, на основі (36) одержимо таку формулу для наведеного поверхневого заряду на зовнішній поверхні циліндра $r = R_2$

$$\pi_e(R_2) = -\frac{\varepsilon_0 \chi_{Em} \xi}{2(\varepsilon_0 + \rho_0 \chi_E)} \left[\frac{\sigma_* \alpha_\mu}{2\rho_0 d_\mu (\lambda + \mu + b) \delta} - \mu_{\pi 0} \right].$$

Аналіз цієї формули показує, що якщо відносна товщина стінки δ та характерна віддаль ξ є сумірні величини, то величина наведеного електричного заряду зростатиме, у міру зменшення товщини стінки. Таким чином, локально градієнтна теорія описує підсилення флексоелектричного ефекту (збільшення поляризації стінок циліндра) у тонкостінних діелектричних тілах.

ВИСНОВКИ

З використанням співвідношень локально градієнтної електропружності показано, що:

- механічні поля (напруження і деформація) у порожнистому ізотропному осесиметричному безмежному циліндрі, внутрішня поверхня якого вільна від зовнішнього навантаження, а зовнішня - перебуває під тиском, можуть суттєво відрізнитися від таких, які передбачає класична теорія, якщо врахувати флексоелектричний ефект. У такому тілі частина механічної енергії (індукованої дією зовнішніх сил) затрачається на поляризацію стінок циліндра;
- навіть за відсутності зовнішніх електричних джерел, поверхні і стінки діелектричного порожнистого циліндра будуть поляризуватися в результаті його неоднорідного деформування, зумовленого перепадом тиску на його внутрішній і зовнішній поверхні. Таким чином, локально градієнтна електропружність описує флексоелектричний ефект (збурення електричного поля, зумовлене неоднорідною деформацією тіла – градієнтом деформації);
- згаданий флексоелектричний ефект підсилюється, якщо товщина стінки циліндра стає сумірною з характерною віддаллю матеріалу.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] В. С. Машкевич, К. Б. Толпыго "Электрические, оптические и упругие свойства кристаллов типа алмаза. I", Журнал эксперим. и техн. Физики, 1957, Т. 32, вып. 3, с. 520-525.
- [2] J. Lu, X. Liang, S. Hu, "Flexoelectricity in solid dielectrics: From theory to applications", Computers, Materials and Continua, vol. 45, No.3, pp. 145-162, 2015.
- [3] K. Enakoutsu, D. Del Vescovo, D. Scerrato "Combined polarization field gradient and strain field gradient effects in elastic flexoelectric materials", Mathematics and Mechanics of Solids, vol. 22, No 5, pp. 938-951, 2017.
- [4] O. Hrytsyna, V. Kondrat: Local Gradient Theory for Dielectrics: Fundamentals and Applications. 1st ed. Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd., Singapore, 2020.
- [5] Y. Burak, V. Kondrat, O. Hrytsyna "An introduction of the local displacements of mass and electric charge phenomena into the model of the mechanics of polarized electromagnetic solids", J. Mech. Mat. Struct., 2008, vol. 3, pp. 1037-1046.

Класифікація Звуків з Використанням Згорткових Автокодувальників

Анастасія Кривохата
кафедра програмної інженерії
Запорізький національний університет
Запоріжжя, Україна
krivohata@gmail.com

Sound Classification using Convolutional Autoencoders

Anastasiia Kryvokhata
dept. of Software Engineering
Zaporizhzhya National University
Zaporizhzhya, Ukraine
krivohata@gmail.com

Анотація—У роботі розглядається задача класифікації звуку. Запропоновано підхід до використання згорткових автокодувальників для отримання абстрактного простору ознак, який далі може використовуватися для класифікації. На вхід автокодувальника поступають спектрограми та хромограми початкового звукового сигналу. Як класифікатор використовується згорткова нейронна мережа з двома вхідними потоками. Далі використовується ансамблеве навчання для отримання кращого узагальнення на невідомих даних.

Abstract—Sound classification problem is considered in this paper. The abstract set of features is obtained using convolutional autoencoders. Further, the set is used as an input to the classifier. Spectrograms and chromograms are fed to the autoencoder. Convolutional neural net with two branches is used as the classifier. Ensemble learning is used further for better generalization on the unknown data.

Ключові слова—класифікація звуку; автокодувальник; згорткова нейронна мережа

Keywords—sound classification; autoencoder; convolutional neural network

I. ВСТУП

Автоматизовані системи класифікації звуку знаходять різноманітні застосування у медицині (аускультация серця, легень), інтернеті речей та урбаністиці (виявлення правопорушень у «розумних містах») тощо. При цьому, задача класифікації звуків оточуючого середовища є більш загальною та складною порівняно з розпізнаванням мови

або музичних жанрів. Це пояснюється нерегулярною структурою записів звуків різного походження, наявністю пауз, зміщення декількох джерел у одній слуховій сцені.

Метою роботи є розробка гібридної нейромережевої моделі класифікації звуку із застосуванням автокодувальників та згорткових нейронних мереж. Для покращення узагальнення моделі пропонується використання ансамблевого навчання, а саме методу Snapshot [1].

II. ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ПУБЛІКАЦІЙ

Використання у задачах розпізнавання апарату згорткових нейронних мереж [2] є досить поширеним завдяки здатності цих моделей виділяти суттєві ознаки у шарах згортки та виконувати безпосередню класифікацію. На вхід таких мереж можуть подаватися безпосередньо звукові записи у вигляді залежності час-амплітуда, але частіше використовуються представлення у спектральній області. Так, в роботах [3, 4] застосовується 1D згорткова мережа, що сприймає звуковий запис без обробки. Перевага використання одновимірних згорткових шарів полягає у меншій кількості параметрів навчання порівняно із 2D та 3D шарами. Однак більш поширеним є двовимірне представлення звукового сигналу у вигляді спектрограм, що дозволяє застосовувати моделі попередньо навчені для задач класифікації зображень [5, 6].

Під автокодувальником розуміють нейронну мережу, яка здатна генерувати на виході сигнал схожий та той, що подається на вхід мережі у сенсі заданої метрики.

Метрикою може виступати середнє квадратичне відхилення, середнє абсолютне відхилення, відносна похибка тощо. Тобто, під час навчання така нейронна мережа підлаштовує свої параметри таким чином, щоб імітувати вхідні дані. Поширеними застосуваннями автокодувальників є розширення набору даних для навчання нейронних мереж та зменшення простору ознак. Такі нейронні мережі мають симетричну структуру і кількість нейронів на виході дорівнює кількості нейронів на вході. Середній шар автокодувальників частіше за всього має меншу кількість нейронів та представляю собою абстрактні ознаки вхідного сигналу.

Одночасне використання автокодувальників для вилучення ознак та/або для розширення даних на етапі навчання реалізовано в статтях [3, 7]

Для виділення інформативних ознак можуть застосовуватися майже всі типи автокодувальників (звичайні, рекурентні, варіаційні тощо). Порівняння різних типів цих мереж в задачі класифікації музики виконано у роботі [7].

У даній роботі пропонується використання середнього шару автокодувальника у якості вхідних даних згорткової мережі, що має декілька вхідних потоків. Відмінність від роботи [8] полягає у додатковому використанні автокодувальника перед шарами згортки. Після чого використовується ансамблювання методом Snapshot [1].

III. МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ

Загальну схему роботи системи, що пропонується, наведено на рис. 1.

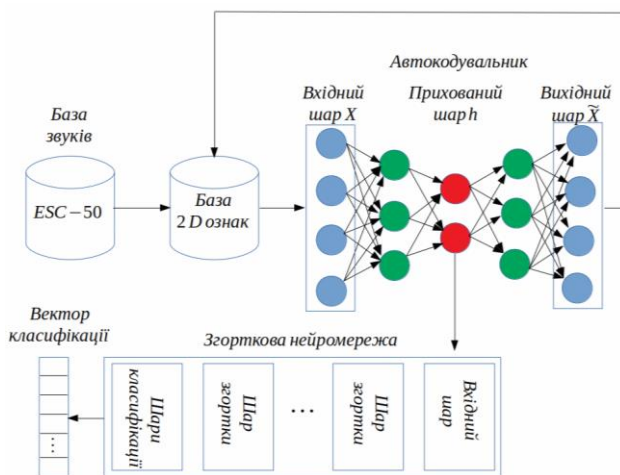


Рис. 1. Потік даних у системі для одного типу 2D ознак

Така архітектура може застосовуватись до декількох типів двовірних ознак (різні типи спектрограм, хромограми) тоді згорткову мережу слід визначати з декількома вхідними потоками.

ВИСНОВКИ

Запропонована архітектура гібридної системи класифікації звуків природного походження дозволяє виконувати як розширення початкового набору звуків, так і обчислення абстрактного набору ознак за допомогою згорткових автокодувальників. Застосування подальшого ансамблювання нейронних мереж [] дозволяє отримати більш стійку точність, з точки зору генералізації.

Точність класифікації запропонованої системи на наборі даних ESC-50 [9] складає 86%, що не є найбільшим показником, однак оптимізуючи гіперпараметри нейронних мереж, що застосовуються можна суттєво впливати на результати прогнозування.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з визначенням оптимального набору ознак, що подаються на вхід системи та тонким налаштуванням гіперпараметрів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] G. Huang, Y. Li, G. Pleiss, Z. Liu, J. Hopcroft, K. Weinberger, "Snapshot Ensembles: Train 1, Get M for Free," [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1704.00109>
- [2] Y. LeCun, Y. Bengio, "Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series," in *Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series*, MIT Press, 1995
- [3] S.Abdoli, P.Cardinal, A. L.Koerich, "End-to-end environmental sound classification using a 1D convolutional neural network," in *Expert Systems With Applications*, vol. 136, pp. 252–263, 2019.
- [4] F.Li, M.Liu, Y.Zhao, L.Kong, L.Dong, X.Liu, M. Hui, "Feature extraction and classification of heart sound using 1D convolutional neural networks," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. Vol. 2019:59, pp. 1-11, 2019.
- [5] Y. Chen, Q. Guo, X.Liang, J. Wang, Y. Qian, "Environmental sound classification with dilated convolutions," *Applied Acoustics*. vol. 148, pp. 123–132. 2019.
- [6] G.Huang, Z.Liu, L.van der Maaten, K.Weinberger, "Densely Connected Convolutional Networks," [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1608.06993>
- [7] F.Roche, T.Hueber, S.Limier, L.Girin, "Autoencoders for music sound modeling: a comparison of linear, shallow, deep, recurrent and variational models," [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1806.04096>
- [8] J.Sharma, O.-C.Granmo, M.Goodwin, Environment Sound Classification using Multiple Feature Channels and Attention based Deep Convolutional Neural Network, [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1908.11219>
- [9] K. J.Piczak. "ESC: Dataset for Environmental Sound Classification," ACM Multimedia : Proceedings of the 23rd Annual Conference. New York, pp. 1015-1018, October 2015

Обробка Інформації Стосовно Стрілецьких Видів Спорту

Анатолій Лопатьєв
Центр математичного
моделювання
Інституту прикладних проблем
механіки та математики,
ім. Я. С. Підстригача НАН
України,
Львівський державний університет
фізичної
культури імені Івана Боберського
Львів, Україна
lopatiiv@gmail.com

Андрій Демічковський,
Львівський державний університет
фізичної
культури імені Івана Боберського
Львів, Україна
snauper777@gmail.com

Андрій Власов
Науково-дослідний інститут
Львівського державного
університету фізичної
культури імені Івана Боберського
Львів, Україна
anvitvl@ukr.net

Processing Information Relating to Shooting Sports

Anatolii Lopatiev
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied
Problems of Mechanics and
Mathematics, National Academy of
Sciences of Ukraine,
Shooting and technical sports
Academic Departments
Lviv State University of Physical
Culture
Lviv, Ukraine
lopatiiv@gmail.com

Andrii Demichkovskyi,
Shooting and technical sports
Academic Departments
Lviv State University of Physical
Culture
Ukraine,
Lviv, Ukraine
snauper777@gmail.com

Andrii Vlasov
Ivan Boberskyj Lviv State University
of Physical Culture
Lviv, Ukraine
anvitvl@ukr.net

Анотація — Наведено розподіл пострілу на фази та надані числові результати. Встановлено що розподіл пострілу на фази «прицілювання», «виконання пострілу – активний постріл», «налаштування на постріл» є інформативними показниками техніко-тактичних дій кваліфікованих спортсменів у кульовій стрільбі.

Abstract — **The distribution of the shot and the numerical results. The shot phases “Aiming”, “Shot execution – active shot”, “Preparation for the shot” are informative indicators of technical and tactical actions of qualified rifle shooting athletes.**

Ключові слова — *кульова стрільба, пневматична гвинтівка, техніка і тактика, постріл.*

Keywords — *bullet shooting, air rifle, technique and tactics, shot.*

I. ВСТУП

В кульовій стрільбі досягнення високих спортивних результатів спортсменами залежить від рівня оволодіння техніко-тактичними діями, та в більшості випадків має вирішальне значення.

Розподіл процесу виконання пострілу на фази (елементи) дозволить детально проаналізувати і встановити особливості виконання техніки та тактики стрільби кваліфікованими спортсменами.

На теперішній момент в практичній діяльності з підготовки спортсменів в достатній мірі не описано використання методів для детального аналізу пострілу, як елементу змагальної діяльності, що певною мірою демонструє невідповідність між підготовленістю та сучасними правилами змагань в кульовій стрільбі.

Фахівці з кульової стрільби наголошують на тому, що аналіз пострілу надасть можливість виявити та встановити помилки які спортсмени роблять під час виконання пострілу (технічні або тактичні). Вдало підібраний метод аналізу надає змогу отримати максимальну кількість даних для подальшої аналітичної обробки [1].

Техніка та тактика стрільби з пневматичної гвинтівки зазнала ряд змін внаслідок нововведень до правил змагань що спричинило зростання змагального навантаження в значній мірі (збільшено кількість фінальних пострілів, запровадження нових стрілецьких програм AIR-MIX (чоловіки та жінки), виокремлено командний залік, як окрему програму).

Найважна спеціалізована наукова та навчально-методична література не враховує сучасного характеру стрільби. Зазначені зміни не враховані в процесі підготовки стрільців, відсутні методичні рекомендації щодо організації навчально-тренувального процесу в сучасних умовах [2, 3].

Підготовці стрільців з пневматичної гвинтівки під час змагальної діяльності ряд науковців присвячували свої праці М.А. Іткіс, А.Я. Корх, Л.М. Вайнштейн, А.О. Лопатьєв, А.В. Пугачев, Т.Д. Полякова, А.П. Демічковський, але останні зміни правил в них не були враховані. Таким чином, враховуючи усі проаналізовані джерела тематика є актуальною для подальшого дослідження.

Метою роботи було охарактеризувати тривалість основних фаз виконання пострілу у стрільбі з пневматичної гвинтівки кваліфікованих спортсменів та проаналізувати взаємозв'язок між ними за допомогою батареї тестів математичної статистики.

Методи дослідження: теоретичний аналіз і узагальнення документальних матеріалів та даних інтернету, методи математичної статистики, кореляційний та дискримінантний аналізи.

II. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Кульова стрільба на етапі свого розвитку зазнала певних змін, які призвели до збільшення змагального та навчально-тренувального навантаження на спортсмена. Внаслідок цього підготовка спортсменів потребує поглибленого аналізу виконання змагальної вправи стрільця на всіх етапах багаторічної підготовки.

На нашу думку шлях подальшого розвитку кульової стрільби є поглиблена індивідуалізація, зосередження уваги на індивідуальних особливостях кожного спортсмена в усіх аспектах прояву його особистості. В подальшому результати аналізу матимуть перехід до методичних рекомендацій з удосконалення процесу підготовки спортсменів.

Було розглянуто як приклад стрільбу з пневматичної гвинтівки, а саме стрілецьку вправу ГП – 6.

Кожен постріл будемо умовно розподіляти на три фази: «налаштування на постріл», «прицілювання», «виконання пострілу – активний постріл» (табл.1). Саме такі складові

будови пострілу в практичній діяльності дозволяє повноцінно характеризувати діяльність спортсмена під час виконання пострілу та вправи в цілому, що своєю чергою надаємо живість описати в часовому діапазоні тривалість кожної фази. Вони підпорядковані певній послідовності, котра є незмінною а також має вплив на попередню і наступну частини («налаштуванням на наступний постріл», «прицілювання» та «виконання пострілу – активний постріл»). Кожен спортсмен повторює його 60 разів. Фіксується загальний час виконання пострілу, а також час виконання його частин.

Враховуючи інтенсивність та навантаження яке виникає у спортсмена під час виконання змагальної вправи характерною ознакою виконання роботи є поява втоми. Можна стверджувати, що поява втоми починає проявлятися одразу після виконання першого пострілу. В залежності від спортивної форми проява втоми у спортсменів відрізняється та має індивідуальні особливості.

У програму дослідження увійшов загальновідомий метод математичної статистики: нормальність розподілу за критерієм Шапіро-Уїлка, котрий застосовується при малих вибірках даних (кількість спортсменів $n \geq 10$).

Отримані результати аналізу свідчать що у МСУ відхилення отриманих очок (результату стрільби) спортсменів від нижньої граничної межі нормальності розподілу становить $W=0,883808$ (критичні значення $W(0,05;n)=0,842$; $W(0,01;n)=0,781$), у КМСУ вони становлять $W=0,858039$ (критичні значення $W(0,05;n)=0,842$; $W(0,01;n)=0,781$). Таким чином за критерієм Шапіро-Уїлки емпіричні дані відповідають нормальному розподілу на рівні значимості $\alpha(n)=0,05$, так і при $\alpha(n)=0,01$.

Умовні позначення: α – допоміжний коефіцієнт для перевірки нормальності розподілу за критерієм Шапіро-Уїлки.

За допомогою методів математичної статистики було здійснено обрахунок певних параметрів (середні значення тривалості елементів пострілу, коефіцієнт кореляції, дискримінантний аналіз що подані в таблиці 1, 2, 3) [2].

На рис. 1, можемо спостерігати розподіл пострілу та надані відповідні числові результати. Дані мають загальний характер та дозволяють мати уяву про динаміку процесу стрільби з пневматичної гвинтівки. Зображено зростання загального часу деяких пострілів (наприклад 11, 21, 31, 41, 51), що, напевно, викликано стандартом (протоколом підрахунку) стрільби в паперові мішені з пневматичної гвинтівки, а саме: після виконання змагальної серії вправи з десяти пострілів (5 мішеней по 2 постріли) спортсмен збирає мішені та кладе їх праворуч від себе на стільчик, щоб суддя вогневого рубежу мав можливість передати їх суддям з підрахунку результатів. Останнє можна інтерпретувати, як зовнішній фактор, що заважає виконанню стрільби.

В табл. 1 наведено середні значення фаз пострілу спортсмена взятих послідовно для кожних десяти пострілів, а саме 1-10, 11-20, 21-30, 31-40, 41-50, 51-60.

Аналіз даних на рис. 2, 3 свідчить, що є зростання загального часу (52,23-65,01-66-66,58 с) для першої, другої, третьої, четвертої серії пострілів із подальшим зменшенням загального часу (63,47-56,07 с) для п'ятої та шостої серії.

При цьому середній результат зростав (9,5-9,9 очок), потім падав (9,6-9,5 очок) та в завершенні стабілізувався (9,7-9,7 очок) по десятках пострілів.

«Налаштування на постріл» була найменшою на початку та в кінці стрільби: 16,76 с при 1-10 пострілі, 19,15 с при 51-60 пострілі та коливається від 24,13 с до 21,53 с в другій – п'ятій серіях.

У «прицілюванні» спостерігалася тенденція до скритих періодів [4].

В «виконання пострілу – активний постріл» наявне зростання затрат часу в першій половині серії (19,6-21,23-23,23 с) з подальшим спадом (22,46-21,99-20,57 с) до кінця серії.

Порівняння «прицілювання» та «виконання пострілу – активний постріл» виявило наступні тенденції: загальний час даних фаз пострілів достатньо близький, причому час «виконання пострілу – активний постріл» інколи перевищує час «прицілювання». Останнє в загальному може вказувати на відсутність кореляції між



Рис. 1. Витрати часу на виконання фаз у стрільбі з пневматичної гвинтівки

ТАБЛИЦЯ І. СЕРЕДНІ ЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ЧАСУ НА ВИКОНАННЯ ФАЗ ПО СЕРІЯМ У СТРІЛЬБІ З ПНЕВМАТИЧНОЇ ГВИНТІВКИ

1	Середні значення		
	Фази пострілу	5	6

	2	3	4		
1-10	16,76	18,59	19,6	58,23	9,5
11-20	23,15	21,74	21,23	65,01	9,9
21-30	22,13	20,88	23,23	66	9,6
31-40	24,13	18,46	22,46	66,58	9,5
41-50	21,53	21,83	21,99	63,47	9,7
51-60	19,15	17,21	20,57	56,07	9,7
7	21,14	19,78	21,51	62,56	9,65

Примітка: 1 – Постріли; 2 – Налаштування на постріл (с); 3 – Прицілювання (с); 4 – Виконання пострілу – активний постріл (с); 5 – Загальний час (с); 6 – Результат (очки); 7 – середні значення.

цими двома фазами пострілу та вимагати більш тонкого підходу до визначення фаз.

Коефіцієнт кореляції використано для визначення зв'язку між фазами виконання пострілу («налаштування на постріл», «прицілювання», «виконання пострілу – активний постріл») та додатковими (загальний час, результат) табл.2. Аналізуються є взаємопов'язаними,

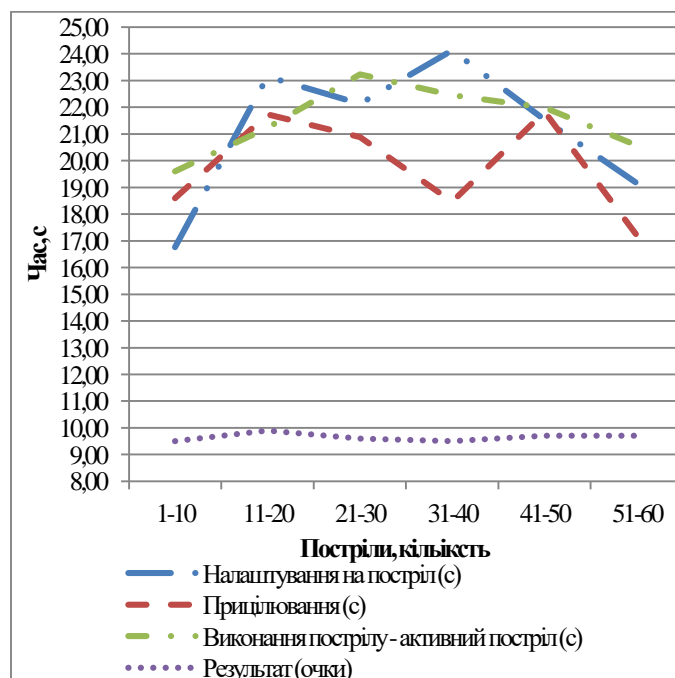


Рис. 2. Середній час на виконання стрільби з пневматичної гвинтівки по серіям

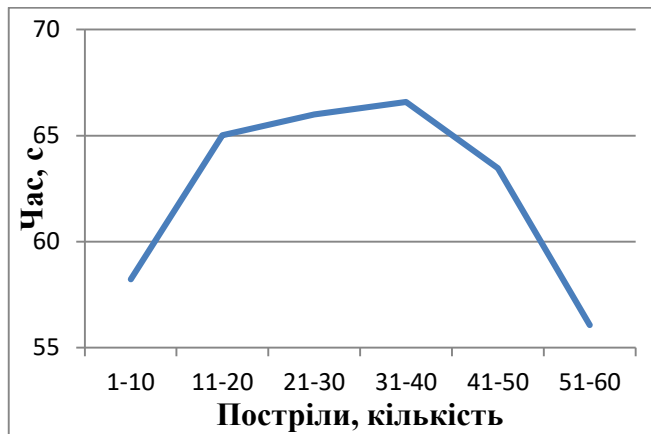


Рис. 3. Загальний час на виконання стрільби з пневматичної гвинтівки по серіям

та мають статистичну залежність, тобто зміна однієї величини викликає зміну іншої.

Під час аналізу з'ясовано, що в серіях кореляційний зв'язок між величинами може бути, як додатним ("прямий"), так і від'ємним ("зворотний").

Встановлено, що між часом «прицілювання» і часом «виконання пострілу – активний постріл» існує додатна кореляція (слабкий зв'язок), між часом «виконання пострілу – активний постріл» і часом налаштування на постріл існує від'ємна кореляція (помірний зв'язок), між часом «виконання пострілу – активний постріл» і результатом існує від'ємна кореляція (слабкий зв'язок), між часом загального часу і часом результату існує від'ємна кореляція (сильний зв'язок), та між часом «прицілювання» і часом результату існує від'ємна кореляція (майже середній зв'язок) при $\alpha > 0,01$.

У табл. 3 наведені загальні витрати часу на 60 пострілів спортсменами різної спортивної кваліфікації (МСУ і КМСУ). Аналізувався час на виконання фаз пострілу («прицілювання», «виконання пострілу – активний постріл», «налаштування на постріл», «загальний час») у стрільбі з пневматичної гвинтівки.

ТАБЛИЦЯ II. Взаємовпливи частин пострілу по серіям в процесі виконання змагальної вправи

1	Коефіцієнти кореляції показників тривалості фаз					
	2	3	4	5	6	7
1-10	,910	-,555	,007	,144	-,145	,298
11-20	,079	-,138	,296	,126	,133	,213
21-30	,481	-,576	,355	-,273	-,113	-,014
31-40	,175	-,190	,172	-,023	,025	,408
41-50	-,035	-,049	,281	-,324	,164	,258

51-60	-,209	-,061	,212	,265	-,116	-,165
8	,234	-,262	,221	-,014	-,008	,166

Примітка: 1 – Постріли; 2 – Прицілювання / Виконання пострілу – активний постріл; 3 – Виконання пострілу – активний постріл / Налаштування на постріл; 4 – Налаштування на постріл / Результат; 5 – Виконання пострілу – активний постріл / Результат; 6 – Загальний час / Результат; 7 – Прицілювання/ Результат; 8 – середні значення.

ТАБЛИЦЯ III. Витрати часу на виконання пострілів у вправі ГП-6 стрільцями різної кваліфікації

Показники	Розряд	N	X	S	різниця	t	p
	КМСУ 9	567,25	34,83	26,69	1,98	0,064	
2	МСУ 10	950,56	197,93				
	КМСУ 9	1017,9	189,08	-67,34	-0,76	0,46	
3	МСУ 10	964,45	283,92				
	КМСУ 9	952,36	160,93	12,09	0,11	0,912	
4	МСУ 10	1678,7	226,14				
	КМСУ 9	1855,2	176,74	-176,53	-1,88	0,077	
5	МСУ 10	3593,7	332,61				
	КМСУ 9	3825,5	413,82	-231,78	-1,35	0,194	

Примітка: 1 – Результат (очки); 2 – Прицілювання (с); 3 – Виконання пострілу – активний постріл (с); 4 – Налаштування на постріл (с); 5 – Загальний час (с).

Отримані результати дозволили встановити, що під час стрільби спортсмени найбільше уваги приділяють на «налаштування на постріл», так у МСУ він триває 1678,66 секунд, а у КМСУ – 1855,19 секунд відповідно. Різниця в 176,53 секунд між спортсменами статистично достовірна ($p = 0,77$).

ТАБЛИЦЯ IV. Результати дискримінантного аналізу

Показники	Структурні коефіцієнти					
	МСУ			КМСУ		
	1	2	3	1	2	3
1	0,001	,981*	0,194	0,629	-,778*	-0,012
2	0,017	0,012	1,000*	0,603	0,148	,784*
3	,958*	0,245	0,151	,619*	0,526	-0,583

Примітка: 1 – Прицілювання (с); 2 – Виконання пострілу - активний постріл (с); 3 – Налаштування на постріл (с).

ВИСНОВКИ

Було запропоновано за допомогою тестів математичної статистики охарактеризувати тривалість основних фаз («прицілювання, «виконання пострілу - активний постріл», «налаштування на постріл») виконання пострілу у стрільбі з пневматичної гвинтівки кваліфікованих спортсменів та проаналізувати взаємозв'язок між ними.

Аналіз експериментальних даних показує вплив кваліфікації спортсменів на час виконання різних фаз пострілу та отриманий кінцевий результат. Детальний аналіз стрільби з пневматичної гвинтівки дозволив встановити різницю в техніко-тактичній підготовленості між спортсменами різної спортивної кваліфікації рівня МСУ та КМСУ.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Власов А.П., Лопатьєв А.О., Виноградський Б.А., Демічковський А.П. Аналіз рухових дій при виконанні стрілецьких вправ // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. – Чернігів: 2010. с.561-565.
- [2]. Демічковський А. П. Показники техніко-тактичних дій кваліфікованих спортсменів у стрільбі з пневматичної гвинтівки / А. П. Демічковський // Теорія та методика фізичного виховання: Науково-методичний журнал- Харків : ОВС, 2019. Том 19, №4, с.186-192.
- [3]. Лопатьєв А. Основні визначення і положення системного підходу, математичного моделювання та інформаційних технологій спортивної науки / ЛопатьєвА., Пітин М., Демічковський А. // Теорія та методика фізичного виховання: Науково-методичний журнал – 2017. Том 17, № 3. – с. 117–125.
- [4]. П'янило Я. ЛопатьєвА., П'янило Г., Власов А. Підходи до аналізу числових рядів // XIII Міжнародна наукова конференція «Моделювання та інформаційні технології у фізичному вихованні та спорті», Львів 22–24 лютого 2017 року.

Модернізація Комп'ютерно-Інтегрованої Системи Подачі Палива Суднових Дизелів

Володимир Голіков
кафедра технічної експлуатації флоту
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеса, Україна
vlad.ant.golikov@gmail.com

Євген Оженко
кафедра автоматизації дизельних та газотурбінних установок
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеса, Україна

Віталій Нікольський
кафедра технічної експлуатації флоту
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеса, Україна
prof.nikolskyi@ukr.net

Марк Нікольський
кафедра автоматизації дизельних та газотурбінних установок
Національний університет «Одеська морська академія»
Одеса, Україна
markdezert@ukr.net

Modernization of the Computer-Integrated Fuel Supply System for Marine Diesel

Volodimir Golikov
dep. fleet operation and maintenance
National University "Odessa Maritime Academy"
Odessa, Ukraine
vlad.ant.golikov@gmail.com

Yevgen Ozhenko
dep. of automation of diesel and gas turbine plants
National University "Odessa Maritime Academy"
Odessa, Ukraine
evgeniyozhenko@gmail.com

Vitalii Nikolskyi
dep.
National University "Odessa Maritime Academy"
Odessa, Ukraine
prof.nikolskyi@ukr.net

Mark Nikolskyi
dep. of automation of diesel and gas turbine plants
National University "Odessa Maritime Academy"
Odessa, Ukraine
markdezert@ukr.net

Анотація — Сучасні СД для зменшення шкідливих викидів газів в довкілля оснащені комп'ютерно-інтегрованими системами управління подачею палива. Один з варіантів управління розвиває MAN & B. Однак в роботі системи подачі палива спостерігаються відмови, які пов'язані з функціонуванням клапану пропорційної подачі газорідкісного енергоносія до паливного насоса високого тиску плунжерного типу.

За останні роки були впроваджені результати дослідження по заміні клапану подачі газу з електричним приводом на гідравлічний. Здійснюється оцінка можливості впровадження цифрових клапанів з гідравлічним циліндром. Створені та досліджені математична та фізична моделі цифрової гідравлічної системи з двома DFCU і тарілчастими клапанами з гідравлічним приводом. Запропоновано ідею

використання п'єзоелектричного приводу для заміни як електромагнітного, так і гідро приводу.

Abstract — The modern system for the reduction of harmful emissions of gas in the environment are equipped with computer-integrated systems of fuel supply control. One of the management options is developed by MAN & B. However, in the fuel supply system is observed failure, which are associated with the functioning of the valve proportional supply of the gasoids to the high-pressure fuel pump plunger type.

In recent years, the results of the research on replacing the gas valve with an electrically powered hydraulic drive were introduced. The possibility of implementation of digital valves with a hydrat cylinder is implemented. The mathematical and physical models of the digital hydraulic system with two DFCU and a plate-valves with hydraulic drive are created and

investigated. The idea of using a piezoelectric drive to replace both the electromagnetic and hydraulic drive is suggested.

Ключові слова: FIVA-valve, суднові дизелі, SimInTech.

Keywords— FIVA-valve, Marine DIESEL, SimInTech.

I. ВСТУП

Починаючи з 2005 року відбувається суттєве коливання цін на ринку нафтопродуктів та вартості палива. Посилення вимог до екологічної безпеки судових дизелів у вигляді зниження норми викидів NOx поставило перед розробниками ДВЗ комплекс проблем щодо зниження емісії відпрацьованих газів і витрат палива, які стали можливі за рахунок забезпечення гнучкості при модернізації робочого процесу дизеля.

Традиційні приводи паливних насосів високого тиску і випускних клапанів застаріли. Тому розробники дизелів були змушені створювати нові типи паливних систем і систем газорозподілу, в яких закон подачі палива, зміна фаз подачі палива і газорозподілу гнучко пов'язані з режимами роботи дизеля. Розвитком теорії і практики паливних систем займаються такі фірми, як Wartsila, MAN-B&W, Caterpillar тощо.

Основний закордонний напрямок модернізації – це акумуляторна система і система безпосередньої дії з гідроприводом паливного насоса, які для переміщення виконавчих механізмів використовують гідропривід, відкази якого неодноразово приводили до виникнення аварійних ситуацій і аварій.

Так, фірма MAN-B & W створила електро-гідралічну автоматизовану систему управління паливним насосом високого тиску, яку наведено на рис. 1 [1-3]. Для приведення в дію паливного насоса застосована акумуляторна система сервомаєла, що використовує охолоджене і очищене маєло в якості проміжного привоєу. Гідралічний модуль кожного цилінєра оснащений акумуєатором маєла для забезпечення досить швидкого нагнітання маєла відповідно вимог до паливної системи, а також для запобігання імпульсних коливань тиску.

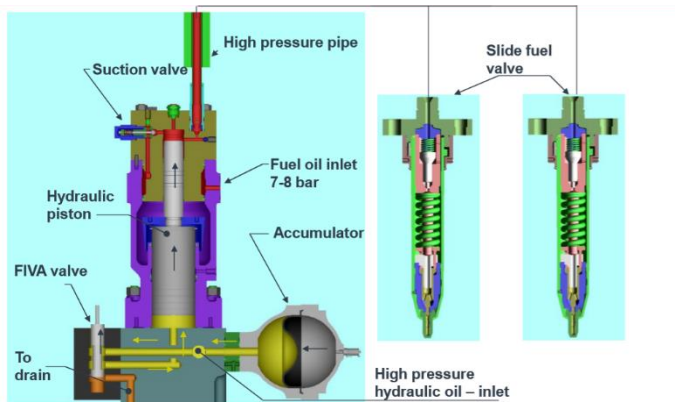


Рис. 1. Схема паливного насоса високого тиску та форсунок

Переміщенням плунжера паливного насоса і випускного клапана управляє швидкодіючий пропорційний клапан, який наведено на рис. 2 (в літературі

зустрічається його позначення як FIVA-valve – FuelInjectionValveActivation), та який, в свою чергу, управляється лінійним електромотором, який отримує керуючий сигнал від комп'ютерно-інтегрованої системи управління. При переміщенні золотника вліво, FIVA-valve працює як двопозиційний клапан, що приводить в дію випускний клапан. У разі переміщення вправо – діє, як пропорційний клапан, що дозволяє управляти характеристикою подачі палива, дроселюючи сервомаєло, що подається під плунжер паливного насоса.

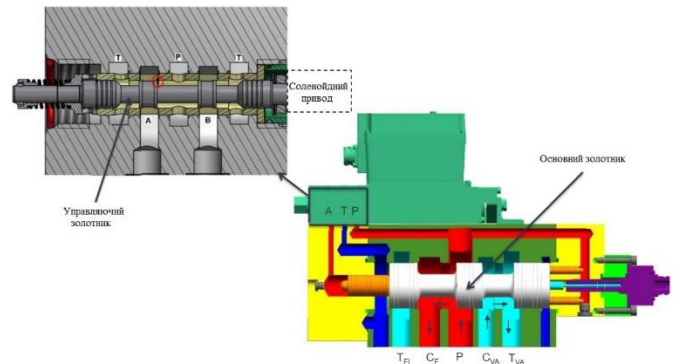


Рис. 2. Швидкодіючий пропорційний клапан: P – вхід маєла під тиском; CFI – подача до паливного насоса; TFI – злив з паливного насоса; CVA – подача до привоєу випускного клапана; TVA – злив з привоєу випускного клапана.

Але при роботі FIVA-valve, через деякий час, спостерігаються збої в роботі, що підтверджується графіками, які були отримані за допомогою вбудованої системи моніторингу процесів та відтворені за допомогою утиліти LDEPlot. На рис. 2 наведено скриншот роботи плунжера цилінєра 7, яка виходить за межі допустимих припущень. Це призводить до неповного закриття або відкриття плунжера Ch31.

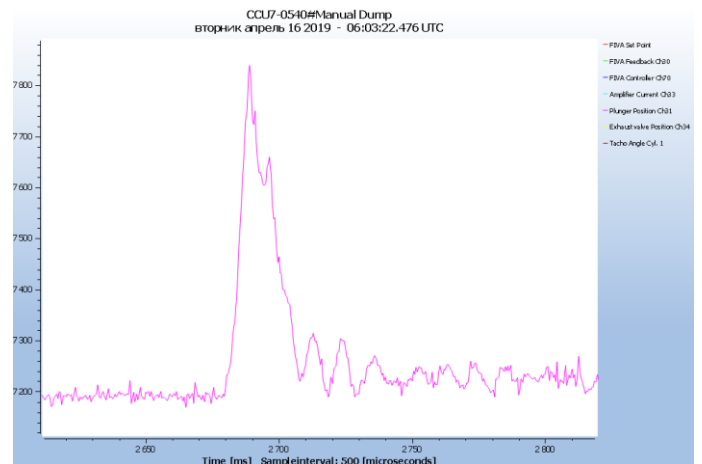


Рис. 3. Графік положення плунжера Ch31 системи подачі палива в цилінєр № 7

В [4] запропоновано використання гідравлічних клапанів з цифровим управлінням для підвищення роботоєдатності клапану подачі газу в двохпаливний ДВЗ, де проведено дослідження цифрової гідравлічної системи з

гідрравлічним циліндром з використанням двох (рис. 4) і чотирьох DFCUs і цифрової пневматичної системи клапанів для трьох варіантів управління цими клапанами, що довели їх високі показники при модифікації пропорційного клапану.

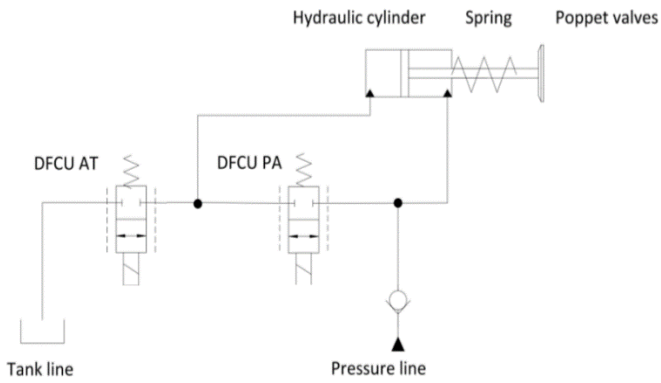


Рис. 4. Цифрова гідрравлічна система з двома DFCU і тарілчастими клапанами з гідрравлічним приводом

II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

Спочатку була висунута гіпотеза про можливість заміни пропорційного клапану на сервомотор з цифровим управлінням. Для цього було створено модель в середовищі електронного моделювання SimIntech (Безлімітна ліцензія. Організація: НУ «ОМА». Серійний номер: D63B30FDA70) [5].

На рис. 5 наведено розроблену модель цифрової гідрравлічної системи з двома DFCU і тарілчастими клапанами з гідрравлічним приводом, яку наведено на рис. 4.

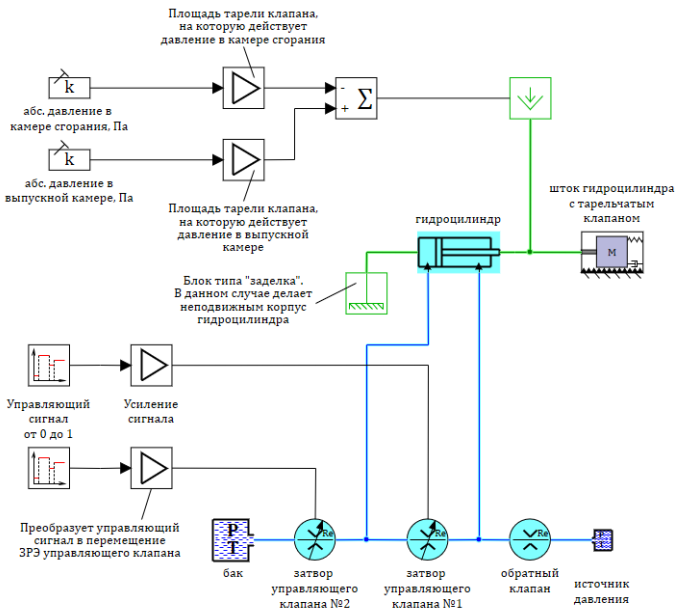


Рис. 5. Модель цифрової гідрравлічної системи з двома DFCU і тарілчастими клапанами з гідрравлічним приводом

На рис. 6 наведено часові діаграми сигналів управління, які надходять на затвори клапанів, що управляють гідроциліндром, враховуючи реальний час спрацювання FIVA-valve.

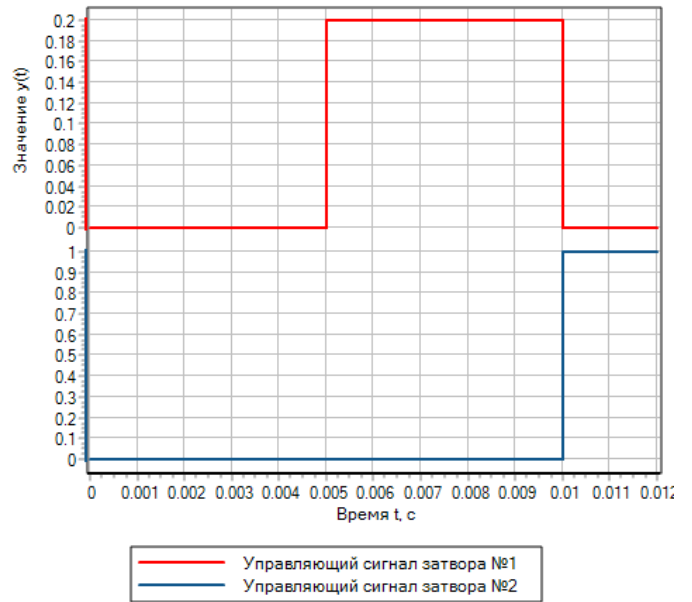


Рис. 6. Часові діаграми роботи блоків, які формують сигнали управління клапанами

На рис. 7 наведені результати моделювання для випадку, коли час надходження імпульсів управління становить 0.5 с. Аналіз результатів моделювання на рис. 7, б довів, що клапан повністю встигає відкритися, та закритися.

Тиск в порожнинах гідроциліндру (рис. 7, а) змінюється стрибком без затягування фронтів.

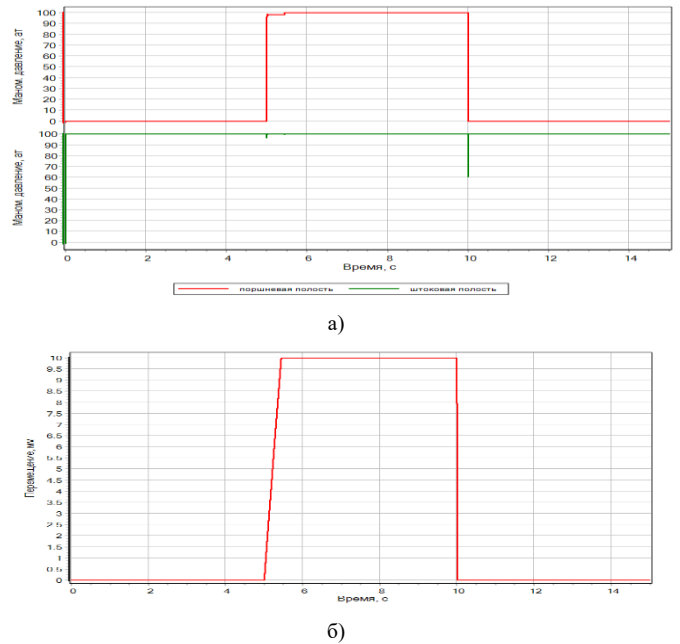
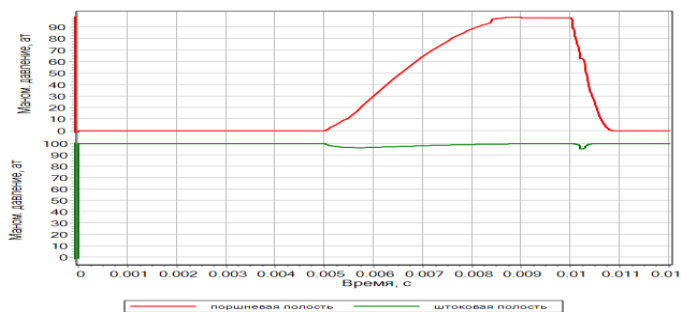
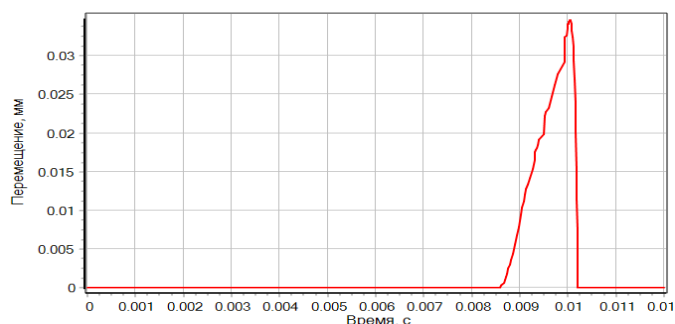


Рис. 7. Результати моделювання: а – манометричний тиск в порожнинах гідроциліндру, б – рух тарілчастого клапану

Але при зміні характеристик гідроциліндру та штоку з тарільчастим клапаном відповідно до розмірів FIVA-valve та часу імпульсів управління спостерігаються перехідні процеси, які свідчать, що для відкриття клапану потребується більше часу (рис. 8, б), ніж на його закриття.



а)



б)

Рис. 8. Результати моделювання: а – манометричний тиск в порожнинах гідроциліндру, б – рух тарільчастого клапану

Слід зазначити, що для проведення дослідження, результати якого наведено на рис. 7, були застосовані характеристики елементів, які запропоновані ТОВ "ЗВ Сервіс". А для проведення дослідження, результати якого наведено на рис. 8, були використані характеристики FIVA-valve суднового дизеля MAN-B&W 12K98ME, а саме: хід основного золотника – +/- 30 мм; довжина золотника – 310 мм; діаметр тарельчастого клапану – 52 мм.

Отримані результати свідчать про те, що гідропривід клапану пропорційної дії працює майже на межі своїх технічних можливостей.

ВИСНОВОК

Таким чином, результати математичного та фізичного моделювання довели, що гдропривід спроможний усунути пульсації. Однак, в такому випадку потрібне залучання додаткової гідравлічної системи, яка призведе до збільшення габаритних розмірів.

Враховуючи досвід та доробок авторів [6, 7] можлива заміна приводу FIVA-valve на п'єзоелектричний, який іноді виступає альтернативою електромагнітному та електромеханічному при невеликих відстанях переміщення та великих зусиллях. Тому подальші дослідження будуть актуальні та направлені на вирішення питань модернізації комп'ютерно-інтегрованої системи подачі палива в суднові дизелі в частині заміни електромагнітного приводу на гідравлічний та п'єзоелектричний.

ПОДЯКА

Колектив авторів висловлюють подяку комерційному директору ТОВ "ЗВ Сервіс" Іл'ї Колотиркіну за надане програмне забезпечення та її консультанту Юрію Тимофєєву при створенні моделі цифрової гідравлічної системи.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. MAN ME Engine. Operating Manual. – Copenhagen, Denmark 2012. – 607 p.
- [2]. MAN ME Training course. Training documentation. – Copenhagen, Denmark, 2014.
- [3]. Electro-hydraulic pumps increase engine efficiency // MER (Marine engineers review). – 2011. – № 10 (Decem-ber/January). – P. 32.
- [4]. Jussi Peurala. Model-based design, modelling and simulation of digital hydraulic gas admission valve. – Tampere University Of Technology, Master of Science Thesis. – March 2014.
- [5]. Software Development [Online]. Available: [http:// http://www.3v-services.com/#main](http://www.3v-services.com/#main).
- [6]. V. Nikolskyi, V. Lisenko, M. Nikolskyi. Use of a piezoelectric valve for the gas supply valve of a two-fuel internal combustion engine // Automation of ship technical means: scien. and techn. ser. – 2017. – № 23. Odessa: NU "OMA". – P. 65 – 69.
- [7]. Yevgen Ozhenko. Appraisal of capabilities piezoelectric actuator application for fuel injection control system effectiveness increasing // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering & Technologies. – №2. –2013. – p. 137-142.

Керування Гідродинамічним Режимом Магістрального Аміакопроводу

Ярослав П'янило

Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Мирослав Прутула

Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
olebra31@gmail.com

Назар Прутула

Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
nazar.prytula1@gmail.com

Control of the Hydrodynamic Mode of the Backbone ammonia Pipeline

Yaroslav Pyanylo

Department for Mathematical Methods of Computing
Experiment in Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Myroslav Prytula,

Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of
Ukraine,
Lviv, Ukraine
Myroslav.prytula@gmail.com

Nazar Prytula,

Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of
Ukraine, Lviv, Ukraine
nazar.prytula1@gmail.com

Анотація — Пропускна спроможність магістрального аміакопроводу (МА) постійно змінюється в часі. Це зумовлено зміною завантаження аміакопроводу, плановими чи аварійними зупинками насосних агрегатів, спрацюванням аварійного захисту тощо. Для того щоб зміни режиму роботи МА не призвели до значного підвищення тиску на ділянках потрібно регулювати гідродинамічний режим аміакопроводу. Одні методи регулювання змінюють параметри

аміакоперекачувальної станції (регулювання - зміною розмірів коліс насоса, схем з'єднання насосів та зміною частоти обертання ротора насоса), а інші, менш економічні, змінюють параметри ділянок МА – перепуск потоку аміаку, регулювання тиску шляхом дроселювання. Для побудови ефективної системи керування режимами транспортування аміаку необхідно вивчити його термогідродинамічні властивості.

Abstract — The throughput of the main ammonia pipeline (MA) is constantly changing over time. These changes are caused by changes in loading of ammonia pipeline, planned or emergency stops of pumping units, triggering of emergency protection, etc. In order to change the mode of operation of the MA did not lead to a significant increase in pressure on the sections, it is necessary to adjust the hydrodynamic mode of the ammonia pipeline. Some control methods change the parameters of the ammonia pumping station (control by changing the size of the pump wheels, pump connection schemes and changing the rotor speed of the pump), while others, less economical, change the parameters of sections MA - ammonia flow bypass, pressure control by throttling. To build an effective system for managing the modes of transportation of ammonia, it is necessary to study its thermohydrodynamic properties.

Ключові слова— Аміакопровід, нестационарна модель руху аміаку, перехідний режим руху, гідравлічний удар.

Keywords — ammonia pipeline, non-stationary model of ammonia movement, transient mode of movement, hydraulic shock.

I. ВСТУП

Неправильне керування перехідними режимами аміакопроводу може завдати непоправної шкоди як екології так і здоров'ю людей. І тому екологічній безпеці та надійності експлуатації магістрального аміакопроводу приділяють значну увагу. У даний час, для зміни режиму, аміакопровід оснащений насосами фіксованої потужності і, відповідно, фіксованої об'ємної продуктивності. Зміна об'ємів транспортування аміаку досягається зміною кількості насосів у паралельній схемі роботи на насосних станціях (для насосів із фіксованою кількістю обертів робочого колеса). Для того, щоб отримати іншу робочу точку, необхідно змінити або ступінь відкриття регулюючого пристрою (крана, дрoселя, вентилля), тобто змінити криву потрібного напору або частоту обертання валу насоса [1-3]. Можлива послідовна та паралельна робота насосів. Послідовна робота застосовується в тих випадках, коли один насос не може забезпечити потрібного напору. У таких випадках подача насосів однакова, а загальний напір дорівнює сумі напорів обох насосів за однієї і тої ж подачі. Така робота є економічно недоцільною, так як ККД послідовних насосів перемножуються. Під час експлуатації аміакопроводу в ньому часто виникають стрибки тиску, як планові - під час зміни режимів перекачування аміаку, такі непередбачувані, які виникають під час аварійних вимкнень насосних агрегатів чи спрацюванні запірних засувок. Для забезпечення неперервної та надійної роботи магістрального аміакопроводу необхідно регулювати тиск на вході та на виході перекачувальних насосів.

II. ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК АМІАКОПРОВОДУ

Довжина аміакопроводу, який проходить по території України складає 1031,189 км. Його проектна потужність складає до 2,52 млн. тон на рік. Аміак знаходиться у рідкому стані під тиском до 3,5 Мпа із температурою близькою до 4°C. Для запобігання корозії в аміак додано 0,4% води. Діаметр труби - 355 мм, товщина 8 мм і вона пролягає на глибині 1,4 м. Аміакопровід розділений на секції запірною арматурою - постами секціонування у середньому кожні 5,2 км, які у разі необхідності можуть

бути швидко перекриті. У склад аміакопроводу входять п'ять проміжних насосних станцій і 12 роздавальних станцій розташованих вздовж траси аміакопроводу.

У результаті перекачування аміаку по трубопроводу напір, що розвивається насосами, витрачається на тертя потоку аміаку до стінок труби, подолання місцевих опорів, статичного опору через різницю геодезичних відміток, а також створення необхідного залишкового напору в кінці ділянки трубопроводу. Під час закриття засувки на ділянках аміакопроводу, нелінійна зміна гідравлічного опору призводить до того, що за короткий час гідравлічний опір швидко збільшується і може призвести до виникнення гідроудару – розповсюдження хвиль підвищеного та пониженого тисків вздовж трубопроводу. І тому виникає проблема постійного регулювання тиску.

Перерахунок характеристик насосу здійснюється за відомими формулами:

$$\frac{Q_i}{Q} = \frac{D_i}{D}, \quad \frac{H_i}{H} = \left(\frac{D_i}{D}\right)^2, \quad \frac{N_i}{N} = \left(\frac{D_i}{D}\right)^3,$$

де Q, H, N, D – витрата, напір, потужність та діаметр робочого колеса – заводські параметри, а Q_i, H_i, N_i, D_i – параметри, які відповідають іншому діаметру робочого колеса D_i .

Оскільки напір насоса є функцією квадрату частоти обертання, то зміна частоти обертання призводить до швидкої зміни тиску.

Рух аміаку в трубопроводі в нестационарному ізотермічному випадку описується наступною системою диференціальних рівнянь в частинних похідних

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\lambda}{8\rho\delta} \omega^2 + \rho g \sin \alpha + \frac{\partial}{\partial x} \left[(1 + \beta) \frac{1}{\rho} \omega^2 \right], \quad (1)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial \omega}{\partial x}.$$

В останній формулі $\omega = \rho v$ - масова швидкість. Система (1) є нелінійною за масовою швидкістю. Можна вважати, що масова швидкість у процесі транспортування аміаку змінюється незначно. Тоді систему можна лінеаризувати наступним чином $-\omega^2 \approx \omega_0 \omega$, де ω_0 - значення масової швидкості на попередньому кроці часового інтервалу. Отримаємо лінеаризовану систему диференціальних рівнянь у частинних похідних

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial \omega}{\partial t} + \lambda_0 \omega + h_p + \omega_1 \frac{\partial \omega}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} = -\frac{\partial \omega}{\partial x}$$

де позначено

$$\lambda_0 = \frac{\lambda \omega_0}{8\rho\delta}, \quad h_p = \rho g \sin \alpha, \quad \omega_1 = (1 + \beta) \frac{\omega_0}{\rho}.$$

Якщо перехідні часи є значними, тоді достатньо розглядати стаціонарний випадок - $\rho \omega = m_0 = const$

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\lambda}{8\delta} \rho \omega^2 + \rho g \sin \alpha + \frac{\partial}{\partial x} \left[(1 + \beta) \rho \omega^2 \right]. \quad (3)$$

Для рідини має місце зв'язок між тиском та густиною

$$\rho = \rho_0 \left[1 + (p - p_0) / K_r \right], \quad (4)$$

де K_r - коефіцієнт об'ємного розширення, ρ_0 - густини рідини при тиску p_0 . Оскільки

$$\frac{1}{\rho} \approx \frac{1}{\rho_0} \left(1 - \frac{p - p_0}{K_r} \right),$$

то рівняння (3) запишеться у вигляді

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\lambda m_0^2}{8\delta\rho_0} \left(1 - \frac{p - p_0}{K_r} \right) + \rho_0 g \sin \alpha \left(1 + \frac{p - p_0}{K_r} \right) - \frac{(1 + \beta)m_0^2}{K_r \rho_0} \frac{\partial p}{\partial x}.$$

Для рідин коефіцієнт об'ємного розширення достатньо великий. Тому з достатньою для практики точністю можна вважати, що

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\lambda m_0^2}{8\delta\rho} + \rho g \sin \alpha. \quad (7)$$

Розв'язок останнього рівняння має вигляд

$$p = p_0 - \left[\frac{\lambda}{8\delta\rho} \left(\frac{M}{S} \right)^2 + \rho g \sin \alpha \right] x, \quad M = \rho \omega S. \quad (8)$$

Тут S - площа поперечного перерізу трубопроводу.

Густина рідкого аміаку залежить від тиску та температури. За експериментальними даними роботи в межах температури від нуля до 50 градусів Цельсія та тиску від 0.5 до 6 Мпа побудована параметрична залежність $\rho = \rho(t, p)$

$$\rho = \rho_2 t^2 + \rho_1 t + \rho_0, \quad (9)$$

а для ρ_i можна побудувати відповідні залежності від тиску

$$\rho_2 = -0,01932p^3 + 0,18769p^2 + 0,14682p + 638,74E+02,$$

$$\rho_1 = -0,01932p^3 + 0,18769p^2 + 0,14682p + 638,74E+02,$$

$$\rho_0 = 0,00792p^2 + 0,57738p + 638,55.$$

Експериментальне визначення параметрів, що характеризують рух аміаку, пов'язане з певною похибкою, яка впливає на розрахунок розподілу тиску вздовж трубопроводу. Введемо деякі збурення вхідних даних ε_λ , ε_ρ та ε_M відповідних величин. Тоді з рівняння усталеного руху аміаку (8) похибка обчислення значення тиску розподіленого вздовж трубопроводу Δp визначається формулою

$$\Delta p = \frac{\lambda}{8\delta\rho} \left(\frac{M}{S} \right)^2 \left(\frac{\varepsilon_\lambda}{\lambda} + \frac{\varepsilon_\rho}{\rho} + \frac{2\varepsilon_M}{M} \right) x.$$

Розглянемо нестационарний ізотермічний випадку режим руху аміаку. Знайдемо розв'язок наступної крайової задачі: знайти розв'язок системи (2) за наступних початкових умов

$$p(x, 0) = p_0 - \left[\frac{\lambda}{8\delta\rho} \left(\frac{M}{S} \right)^2 + \rho g \sin \alpha \right] x, \quad \omega(x, 0) = \omega_0 = const.$$

Тоді

$$h(\tau, t) = \frac{\tau}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} \sin \frac{k\pi\tau}{l} \psi_k(t),$$

$$\psi_k(t) = \frac{1}{s_1 - s_2} \left[\left(\frac{v_2}{v_1} + s_1 \right) e^{s_1 t} - \left(\frac{v_2}{v_1} + s_2 \right) e^{s_2 t} \right].$$

Остаточно розв'язок сформульованої задачі має вигляд

$$p(x, t) = p_1(x, t) + p_2(x, t) + p_0 - \left[\frac{\lambda}{8\delta\rho} \left(\frac{M}{S} \right)^2 + \rho g \sin \alpha \right] x,$$

де

$$p_1(x, t) = \begin{cases} 0, & t < -xv_0, \\ \frac{d}{dt} \int_0^t [p(0, t-u) - p_{c1}] h(l-x, u) du, & t < -xv_0. \end{cases}$$

$$p_2(x, t) = \begin{cases} 0, & t < (l-x)v_0, \\ \frac{d}{dt} \int_0^t [p(l, t-u) - p_{c1} - p_{c2}l] h(x, u) du, & t > (l-x)v_0. \end{cases}$$

$$p(0, t) = p_{sn0} + (p_{ss0} - p_{sn0}) e^{-\alpha_0 t},$$

$$p(l, t) = p_{snl} + (p_{ssl} - p_{snl}) e^{-\alpha_1 t},$$

$$s_{1,2k} = \frac{1}{2} \left[-\frac{v_2}{v_1} \pm \sqrt{\left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 - \frac{4}{v_1} \left(\frac{\kappa\pi}{l} \right)^2} \right],$$

$$h(\tau, t) = \frac{\tau}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} \sin \frac{k\pi\tau}{l} \psi_k(t),$$

$$\psi_k(t) = \frac{1}{s_1 - s_2} \left[\left(\frac{v_2}{v_1} + s_1 \right) e^{s_1 t} - \left(\frac{v_2}{v_1} + s_2 \right) e^{s_2 t} \right],$$

$$v_0 = (1 + \beta) \frac{\omega_0}{2\rho c^2}, \quad v_1 = (1 + \beta)^2 \frac{\omega_0^2}{4\rho^2 c^4} + \frac{1}{c^2}, \quad v_2 = \frac{\lambda_0}{c^2},$$

$$p_{c1} = p_0, \quad p_{c2} = - \left[\frac{\lambda}{8\delta\rho} \left(\frac{M}{S} \right)^2 + \rho g \sin \alpha \right].$$

В останню формулу граничні умови входять у загальному вигляді. Їхнє задання залежить від задачі, яку потрібно розв'язати.

Для керування перехідними режимами роботи МА важливо знати перехідні часи.

Для визначення перехідних часів граничні умови задаємо у вигляді

$$p(0, t) = p_{sn0} + (p_{ss0} - p_{sn0}) e^{-\alpha_0 t}$$

та

$$p(l, t) = p_{snl} + (p_{ssl} - p_{snl}) e^{-\alpha_1 t}$$

і у функції $h(\tau, t)$ обмажемося першими двома доданками

$$h(\tau, t) \approx \frac{\tau}{l} + h_1(\tau) e^{s_{11} t} + h_2(\tau) e^{s_{21} t},$$

де

$$h_1(\tau) = - \frac{2 \sin \frac{\pi\tau}{l}}{\pi (s_{11} - s_{21})} \left(\frac{v_2}{v_1} + s_{11} \right),$$

$$h_2(\tau) = \frac{2 \sin \frac{\pi\tau}{l}}{\pi (s_{11} - s_{21})} \left(\frac{v_2}{v_1} + s_{21} \right).$$

Зауважимо, що параметри граничних умов визначаються на експериментально. Тоді

$$p(x, t) = p_1(x, t) + p_2(x, t) + p_0 - \left[\frac{\lambda}{8\delta\rho} \left(\frac{M}{S} \right)^2 + \rho g \sin \alpha \right] x,$$

де

$$p_1(x, t) = \begin{cases} 0, & t < -xv_0, \\ p_{11}(x, t), & t < -xv_0, \end{cases}$$

$$p_2(x, t) = \begin{cases} 0, & t < (l-x)v_0, \\ p_{22}(x, t), & t > (l-x)v_0. \end{cases}$$

Тут

$$p_{11}(x, t) = [p(0, 0) - p_{c1}] \left[\frac{l-x}{l} + h_1(l-x)e^{s_{11}t} + h_2(l-x)e^{s_{21}t} \right] - \\ - \alpha_0(p_{ss0} - p_{sn0}) \left\{ \frac{l-x}{l\alpha_0} (1 - e^{-\alpha_0 t}) + \frac{h_1(l-x)}{\alpha_0 + s_{11}} (e^{s_{11}t} - e^{-\alpha_0 t}) + \right. \\ \left. + \frac{h_2(l-x)}{\alpha_0 + s_{21}} (e^{s_{21}t} - e^{-\alpha_0 t}) \right\},$$

та

$$p_{22}(x, t) = [p(l, 0) - p_{c1} - p_{c2}l] \left[x + h_1(x)e^{s_{11}t} + h_2(x)e^{s_{21}t} \right] - \\ - \alpha_l(p_{ssl} - p_{snl}) \left\{ \frac{x}{l\alpha_l} (1 - e^{-\alpha_l t}) + \frac{h_1(x)}{\alpha_l + s_{11}} (e^{s_{11}t} - e^{-\alpha_l t}) + \right. \\ \left. + \frac{h_2(x)}{\alpha_l + s_{21}} (e^{s_{21}t} - e^{-\alpha_l t}) \right\},$$

$$s_{11}t = \frac{1}{2} \left[-v_3 - \sqrt{v_3^2 - v_{41}} \right] t, \quad s_{21}t = \frac{1}{2} \left[-v_3 + \sqrt{v_3^2 - v_{41}} \right] t.$$

З отриманих формул слідує, що перехідний час залежить від співвідношення параметрів α_0 , α_l та v_3 . Для великих часів множники $e^{-\alpha_0 t}$, $e^{-\alpha_l t}$, $e^{s_{11}t}$ і $e^{s_{21}t}$ достатньо малими. Тому при великих значеннях часів доданки, в яких присутні множники $h_j(x)$ прямують до нуля при зростанні часів. Перехідний час в значній мірі залежить від точності відхилення нестационарного процесу від нового стаціонарного руху аміаку.

Позначення, які введені в останніх формулах, наступні:

$$\lambda_0 = \frac{\lambda\omega_0}{8\rho\delta}, \quad h_p = \rho g \sin \alpha, \quad \omega_l = (1 + \beta) \frac{\omega_0}{\rho},$$

$$\omega(x, 0) = \omega_0 = const, \quad v_{41} = \frac{4}{v_1} \left(\frac{\pi}{l} \right)^2,$$

$$v_0 = (1 + \beta) \frac{\omega_0}{2\rho c^2}, \quad v_1 = (1 + \beta)^2 \frac{\omega_0^2}{4\rho^2 c^4} + \frac{1}{c^2}, \quad v_2 = \frac{\lambda_0}{c^2},$$

$$v_3 = \frac{\lambda_0}{1 + \frac{(1 + \beta)^2 \omega_0^2}{4\rho^2 c^2}}.$$

III. ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ

Гідравлічним ударом називається різка зміна тиску в напірному трубопроводі внаслідок раптової зміни швидкості рідини в часі. Зниження тиску, яке розповсюджується за напрямком до запірного пристрою, називається зворотною ударною хвилею. Час пробігу прямої і зворотної ударної хвилі складає тривалість фази гідравлічного удару. Описаний процес відбувається надзвичайно швидко, так як швидкості розповсюдження ударної хвилі є значними.

Формула для швидкості розповсюдження ударної хвилі має вигляд

$$C = \sqrt{\frac{E_0}{\rho}} / \sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E \delta}},$$

де δ – товщина стінок труби; E – модуль пружності матеріалу, із якого зроблений трубопровід; $\sqrt{E_0/\rho}$ – швидкість розповсюдження пружних деформацій у рідині з густиною ρ і модулем пружності E_0 . Для води

$$C_0 = \sqrt{E_0/\rho} = 1425 \text{ м/с}.$$

Коли по трубопроводу діаметром d рухається вода, то

$$C = 1425 / \sqrt{1 + \frac{E_0 d}{E \delta}}.$$

Підвищення тиску при гідравлічному ударі визначається за формулою

$$\Delta p = p - p_0 = -\rho C (v - v_0),$$

де p_0 і v_0 – тиск і швидкість, які відповідають початковому моменту перед гідравлічним ударом. Максимальне підвищення тиску p_{\max} маємо коли $v = 0$.

ВИСНОВКИ

Проведені числові експерименти на реальних даних, які показали задавальну збіжність заміряних та розрахованих гідравлічних параметрів у режимах близьких до стаціонарних

Основний вплив на точність параметрів руху аміаку має гідравлічний опір. Гідравлічний опір можна обчислювати за відомими емпіричними формулами або знаходити як розв'язок оберненої коефіцієнтної задачі. Очевидно, що більш доцільнішим є другий варіант, оскільки гідравлічний опір буде виступати параметром адаптації.

Похибка вхідних даних залежить від довжини трубопроводу і є максимальною в кінці. Тому параметр адаптації доцільно визначати за заміряними даними на кінцях трубопроводу.

Під час побудови параметричного зв'язку між густиною та тиском за сталої температури та густини від температури за сталого тиску коефіцієнти кореляції є близькими до одиниці. Однак використання отриманих емпіричних формул для розрахунку розподілу тиску вздовж трубопроводу не забезпечують необхідну точність.

Отримані результати забезпечують побудову керування перехідними без ударними режимами за мінімальний час.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Беккер, Л.М. Расчет оптимального режима работы нефтепровода, оборудованного частотно-регулируемым приводом // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – №3. – С. 27-33
- [2]. Самоленков С.В., Кабанов О.В. Исследование способов энергосбережения при транспорте нефти // Записки Горного института. – 2012. – Т. 195. – С. 81-84.
- [3]. Шагив Р.Г., Верущин А.Ю. Моделирование гидравлических ударов в трубопроводах морских нефтеотгрузочных терминалов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2009. – №3. – С.34-41

Аналіз Режимів Руху Газу в Трубопровідних Системах за Наявності Витоків

Ярослав П'янило

Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
danylo794@gmail.com

Мирослав Притула

Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
olebra31@gmail.com

Назар Притула

Відділ математичних методів обчислювального експерименту Центру математичного моделювання Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України
Львів, Україна
nazar.prytula1@gmail.com

Analysis of Gas Flow Modes in Pipeline Systems with Leakage Presence

nazar.prytula1@gmail.com

Yaroslav Pyanylo

Department for Mathematical Methods of Computing
Experiment in Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine
Lviv, Ukraine
danylo794@gmail.com

Myroslav Prytula,

Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of
Ukraine,
Lviv, Ukraine
Myroslav.prytula@gmail.com

Nazar Prytula,

Head of department,
Research and Design Institute of Gas Transport,
Center of Mathematical Modeling
of Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics
and Mathematics, National Academy of Sciences of
Ukraine, Lviv, Ukraine

Анотація — В процесі транспортування газу є наявними його витoki вздовж трубопроводу. В роботі побудована математична модель руху газу в трубопроводі, яка дозволяє визначити наявність витoku та його координати в залежності від точності заміряних вхідних даних і об'ємної витрати.

Abstract — There are leaks along the pipeline in the process of gas transportation. A mathematical model of gas flow in a pipeline is developed in this work. This model allows to determine the leakages presence and their coordinates depending upon the accuracy of the measured input data and the gas volumetric flow rate.

Ключові слова— Математичне моделювання, транспорт газу, крайові задачі, втрати газу, об'ємні витрати газу.

Keywords — mathematical modelling, gas transportation, boundary problems, gas volumetric flow rate.

I. ВСТУП

До вивчення витоків газу із трубопроводів можна підходити двома шляхами:

А) весь газопровід розбити на ділянки між пунктами витоків і на них проводити дослідження руху газу, узгоджуючи початкові та граничні умови в точках стику;

Б) наявні вздовж траси газопроводу витоки моделювати узагальненими функціями.

Другий шлях більш зручний, оскільки граничні умови в точках витоків входять в самі рівняння, а також скорочується час обчислення. Визначення витоків газу базується на порівнянні об'ємних витрат транспортованого газу та об'ємів його витоків.

Очевидно, що витоки газу є незначними в порівнянні з транспортованим газом. Значна кількість робіт, присвячених дослідженню незворотних втрат, базуються на припущенні про розрив потоку газу. Розахунки показують [2,3], що наявність витоків приводить до незначної зміни оперативних параметрів руху газу. Тому для визначення витоків газу необхідно мати достатньо точну модель руху газу в трубопроводі та необхідну кількість параметрів і вхідних даних для ідентифікації величини і місця знаходження витоку. Точність обчислення параметрів витоків газу повинна бути не меншою за похибку моделі [1,5,6]. Враховуючи сказане, для дослідження оцінки витоків необхідно застосовувати аналітичні моделі руху газу.

II. ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНИЦІ МІЖ ОБ'ЄМНИМИ ВИТРАТАМИ ГАЗУ НА ВХОДІ І ВИХОДІ ТРУБОПРОВОДУ

У випадку витоків газу із трубопроводу одним із критеріїв може бути різниця між об'ємними витратами входу та виходу газу. Для цього спочатку необхідно визначити цю різницю для випадку, коли немає витоку.

Будемо вважати, що при визначенні розподілу тиску в трубопроводі граничні умови задаються на функцію тиску. Знайдемо різницю між об'ємними витратами входу та виходу газу.

З рівняння стану газу $p = mzRT/q$ [2,3] об'ємні витрати входу та виходу газу визначаються за формулами $q_{vx} = mz_{vx}RT_{vx}/p_{vx}$ та $q_{vyx} = mz_{vyx}RT_{vyx}/p_{vyx}$ відповідно. Тут m та q масова та об'ємна витрати відповідно. Тоді

$$q_{vyx} - q_{vx} = \frac{m}{p_{vyx}} z_{vyx} RT_{vyx} - \frac{m}{p_{vx}} z_{vx} RT_{vx}.$$

Якщо для обчислення коефіцієнта стиску використати формулу $z = 1/(1 + fp)$, то

$$q_{vyx} - q_{vx} = \frac{m}{p_{vyx}} \frac{1}{1 + fp_{vyx}} RT_{vyx} - \frac{m}{p_{vx}} \frac{1}{1 + fp_{vx}} RT_{vx}.$$

З рівняння неперервності випливає, що масова витрата в трубопроводі є величиною сталою. Будемо вважати, що постійною величиною є і число Рейнольдса R . В робочих режимах трубопроводу величина fp є достатньо малою.

Тому має місце наближена рівність $z \approx 1 - fp$. Тоді

$$\Delta q = q_{vyx} - q_{vx} \approx mR \left[\frac{T_{vyx}}{p_{vyx}} - \frac{T_{vx}}{p_{vx}} + fT_{vx} - fT_{vyx} \right].$$

За заданих граничних умов на тиск різниця між об'ємними витратами між входом і виходом не залежить від параметрів трубопроводу, а тільки від граничних умов. З обчислювальних експериментів відомо, що ця різниця є порівняно невеликою із об'ємною витратою вздовж трубопроводу.

Якщо при заданих граничних умовах різниця між об'ємними витратами між входом і виходом Δq_r не співпадає з визначеною вище Δq , то вздовж траси є наявними витоки або притоки газу. Причому їх величина визначається різницею між Δq та Δq_r , тобто величина витоку q_{vyt} буде

$$q_{vyt} = \Delta q_r - \Delta q.$$

III. ВИЯВЛЕННЯ ВИТОКІВ ГАЗУ НА БАЗІ АНАЛІЗУ НЕСТАЦІОНАРНОГО РУХУ ГАЗУ В ТРУБОПРОВОДАХ

Розглянемо математичну модель транспортування газу за наявності вздовж траси компресорних станцій (КС) та відборів, описуючи їх узагальненими функціями. Між КС та відборами і витокami газу можна встановити наступну відповідність – в точках витоку має місце як збурення тиску, так і зміна маси транспортованого газу.

В ізотермічному режимі з нехтуванням сили Коріоліса при постійному значенні коефіцієнта стисливості z процес руху описується системою [2,3,6]

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + a\omega - bp = \Theta(x, t), \\ \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial p}{\partial t} = \Psi(x, t). \end{cases} \quad (1)$$

Функції

$$\Theta(x, t) = \sum_{i=1}^I p_{st,i} \delta(x - x_i) [\eta(t - t_{1i}) - \eta(t - t_{2i})]$$

та

$$\Psi(x, t) = \pm \sum_{j=1}^J \frac{q_j(t)}{F} \delta(x - x_j) [\eta(t - t_{1j}) - \eta(t - t_{2j})]$$

моделюють наявність по трасі компресорних станцій в точках $x = x_i, i = \overline{1, I}$ та пунктів відводу в точках $x = x_j, j = \overline{1, J}$, з часами включення t_{1i}, t_{1j} і виключення t_{2i}, t_{2j} відповідно, F – площа поперечного перерізу трубопроводу, знак (+) вказує на відвід газу, а (-) – на поступлення.

Досліджується процес руху газу в горизонтальному трубопроводі довжини l за заданих граничних умов на функцію тиску

$$p(0, t) = p_{ok}(t), \quad p(l, t) = p_{kk}(t),$$

або масової витрати

$$\omega(o,t) = \omega_{ok}(t), \quad \omega(l,t) = \omega_{kk}(t).$$

За початкову умову приймається відомий стаціонарний розподіл тиску $p(x,0) = p_{om}(x)$ або масової витрати $\omega(x,0) = \omega_{om}(x)$.

В зображеннях Лапласа-Карсона [4] система (1) буде

$$\begin{cases} (s+a)\bar{\omega} + \frac{d\bar{p}}{dx} - b\bar{p} = s\omega_{om} + \bar{\Theta}; \\ \frac{d\bar{\omega}}{dx} + \frac{s}{c^2}\bar{p} = \frac{s}{c^2}p_{om} + \bar{\Psi}, \end{cases} \quad (2)$$

де s – параметр перетворення Лапласа, $\bar{p} \equiv \bar{p}(x,s)$, $\bar{\omega} \equiv \bar{\omega}(x,s)$, $\bar{\Theta} \equiv \bar{\Theta}(x,s)$ й $\bar{\Psi} \equiv \bar{\Psi}(x,s)$ – зображення Лапласа-Карсона відповідних оригіналів. За сталих гранично-початкових умов замість функцій \bar{p} і $\bar{\omega}$ введемо в розгляд функції $\bar{p} = \bar{p} + xh_p/l - p_{0k}$ та $\bar{\omega} = \bar{\omega} + xh_\omega/l - \omega_{0k}$, де $h_p = p_{0k} - p_{kk}$, $h_\omega = \omega_{0k} - \omega_{kk}$, які задовольняють нульові граничні умови. В нових позначеннях система (2) буде

$$\begin{cases} (s+a)\bar{\omega} + \frac{d\bar{p}}{dx} - b\bar{p} = \varphi_1, \\ \frac{d\bar{\omega}}{dx} + \frac{s}{c^2}\bar{p} = \varphi_2. \end{cases} \quad (3)$$

де

$$\varphi_1 = s\omega_{om} - (s+a)\omega_{0k} + \frac{1}{l}h_p + bp_{0k} + \bar{\Theta}(x,s) + \frac{x}{l}[(s+a)h_\omega - bh_p],$$

та

$$\varphi_2 = \frac{s}{c^2}p_{on} + \frac{1}{l}h_\omega - \frac{s}{c^2}p_{ok} + \bar{\Psi}(x,s) + \frac{x}{l}\frac{s}{c^2}p_{om}h_p.$$

Система (3) розв'язується з використанням рядів Фур'є за синусами [2,4,6], тобто

$$\begin{cases} \bar{p}(x,s) \\ \bar{\omega}(x,s) \end{cases} = \sum_{n=1}^{\infty} \begin{cases} \bar{p}_n(s) \\ \bar{\omega}_n(s) \end{cases} \sin \frac{n\pi x}{l},$$

Розв'язок системи (3) в зображеннях Лапласа-Карсона має вигляд

$$\begin{aligned} \tilde{p}(s) &= v_n l \left[\varphi_{1n} + b\tilde{p}_n(s) - (s+a)\tilde{\omega}_n(s) \right], \\ \tilde{\omega}_n(s) &= v_n l \left[\varphi_{2n} - \frac{s}{c^2}\tilde{p}_n(s) \right]. \end{aligned}$$

Якщо позначити $\kappa_n = (1 - blv_n)/(v_n l/c)^2$, то

$$\tilde{p}_n(s) = - \left(\frac{c}{v_n l} \right)^2 v_n l \frac{1}{(s-s_1)(s-s_2)} [\varphi_{1n} - v_n l(s+a)\varphi_{2n}],$$

де

$$s_1 = \frac{1}{2} \left(-a - \sqrt{a^2 - 4\kappa_n} \right), \quad s_2 = \frac{1}{2} \left(-a + \sqrt{a^2 - 4\kappa_n} \right).$$

Для обчислення коефіцієнтів φ_{1n} та φ_{2n} мають місце формули:

$$\begin{aligned} \varphi_{1n} &= \hat{v}_n \left[(s+a)h_\omega - bh_p \right] + \\ & \hat{v}_n \left[s\omega_{om} - (s+a)\omega_{ok} + \frac{1}{l}h_p + bp_{0k} \right] + \bar{\Theta}_n(s), \\ \varphi_{2n} &= \hat{v}_n \frac{s}{c^2}h_p + \hat{v}_n \left[\frac{s}{c^2}(p_{om} - p_{ok}) + \frac{1}{l}h_\omega \right] + \bar{\Psi}_n(s). \end{aligned}$$

Введемо позначення:

$$\begin{aligned} d_1 &= \hat{v}_n (ah_\omega - bh_p) + \hat{v}_n \left(\frac{1}{l}h_p + bp_{0k} - a\omega_{ok} \right) - a v_n \hat{v}_n h_\omega, \\ d_2 &= \hat{v}_n h_\omega + \hat{v}_n (\omega_{om} - \omega_{ok}) - \\ & - v_n l \left(\frac{1}{l}\hat{v}_n h_\omega + \frac{a}{c^2}(\hat{v}_n h_p + \hat{v}_n (p_{om} - p_{ok})) \right), \\ d_3 &= -v_n l \frac{1}{c^2} (\hat{v}_n h_p + \hat{v}_n (p_{om} - p_{ok})), \end{aligned}$$

Тоді

$$\begin{aligned} \tilde{p}_n(s) &= - \left(\frac{c}{v_n l} \right)^2 \frac{v_n l}{(s-s_1)(s-s_2)} \\ & \left\{ d_1 + sd_2 + s^2 d_3 + \bar{\Theta}_n(s) - v_n l(s+a)\bar{\Psi}_n(s) \right\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Зображенням

$$\bar{\xi}_{in}(s) = \frac{s^{i-1}}{(s-s_1)(s-s_2)}, \quad i=1,2,3.$$

$$\bar{\xi}_{4n}(s) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l p_{st,i} e^{-\frac{x_i}{v_n l}} \left[\frac{e^{-t_i s}}{(s-s_1)(s-s_2)} - \frac{e^{-t_{2i} s}}{(s-s_1)(s-s_2)} \right],$$

$$\begin{aligned} \bar{\xi}_{5n}(s) &= \frac{s+a}{(s-s_1)(s-s_2)} \bar{\Psi}_n(s) = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^J \frac{q_j}{F} e^{-\frac{x_j}{v_n l}} \left[e^{-t_{2j} s} \times \right. \\ & \left. \times (\bar{\xi}_{2n}(s) + a\bar{\xi}_{1n}(s)) - e^{-t_{2j} s} (\xi_{2n}(s) + a\xi_{1n}(s)) \right], \end{aligned}$$

відповідають оригінали

$$\xi_{1n}(t) = \frac{1}{s_1 s_2} - \frac{e^{s_1 t}}{s_1 (s_2 - s_1)} + \frac{e^{s_2 t}}{s_2 (s_2 - s_1)},$$

$$\xi_{2n}(t) = \frac{e^{s_2 t} - e^{s_1 t}}{(s_2 - s_1)}, \quad \xi_{3n}(t) = \frac{s_2 e^{s_2 t} - s_1 e^{s_1 t}}{(s_2 - s_1)}.$$

$$\xi_{4n}(t) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l p_{st,i} e^{-\frac{x_i}{v_n t}}$$

$$\left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{1i} \\ \xi_{1n}(t-t_{1i}), t > t_{1i} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{2i} \\ \xi_{1n}(t-t_{2i}), t > t_{2i} \end{array} \right],$$

$$\xi_{5n}(t) = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^J \frac{q_j}{F} e^{-\frac{x_j}{v_n t}} \left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{1j} \\ \xi_{2n}(t-t_{1j}) + a \xi_{1n}(t-t_{1j}), t > t_{1j} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{2j} \\ \xi_{2n}(t-t_{2j}) + a \xi_{1n}(t-t_{2j}), t > t_{2j} \end{array} \right].$$

Таким чином оригіналом зображення (4) є функція

$$\tilde{p}_n(t) = -\left(\frac{c}{l}\right)^2 \frac{l}{v_n} [d_1 \xi_{1n}(t) + d_2 \xi_{2n}(t) + d_3 \xi_{3n}(t)] - \left(\frac{c}{l}\right)^2 \frac{l}{v_n} \xi_{4n}(t) + c^2 \xi_{5n}(t).$$

Оскільки оригінали коефіцієнтів ряду розкладу функції тиску в ряд Фур'є знайдено, то можна вважати, що знайдено розв'язок сформульованої задачі стосовно тиску.

IV. ЗМІНА МАСОВОЇ ВИТРАТИ ГАЗУ

В кінцевому результаті розподіл тиску в трубопроводі за прийнятих крайових умов визначається формулою

$$p(x, t) = p_{0k} - \frac{x}{l} h_p - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \text{Im} \{ \tilde{p}_n(t) \} \sin \frac{n\pi x}{l}. \quad (5)$$

Маса газу, який міститься в трубі, визначається за формулою $M = S \int_0^l \rho dx = \frac{S}{zRT} \int_0^l p(x, t) dx$. Якщо в останній

формулі використати співвідношення (5), то отримаємо

$$M_{zs} = \frac{Sl}{zRT} \int_0^t \left\{ p_{0k} - \frac{x}{l} h_p - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} \{ \tilde{p}_n(\tau) \} \right\} d\tau = \frac{Sl}{zRT} \left\{ \left(p_{0k} - \frac{x}{l} h_p \right) t - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} \left[\int_0^t \tilde{p}_n(\tau) d\tau \right] \right\}.$$

Якщо

$$U_n(t) = \int_0^t \tilde{p}_n(\tau) d\tau.$$

то

$$U_n(t) = -\left(\frac{c}{l}\right)^2 \frac{l}{v_n} [d_1 U_{1n}(t) + d_2 U_{2n}(t) + d_3 U_{3n}(t)] - \left(\frac{c}{l}\right)^2 \frac{l}{v_n} U_{4n}(t) + c^2 U_{5n}(t), \quad U_{in}(t) = \int_0^t \xi_{in}(\tau) d\tau.$$

Використовуючи визначення функцій $\xi_{in}(t)$, отримуються формули:

$$U_{1n}(t) = \frac{t}{s_1 s_2} - \frac{e^{s_1 t} - 1}{s_1^2 (s_2 - s_1)} + \frac{e^{s_2 t} - 1}{s_2^2 (s_2 - s_1)},$$

$$U_{2n}(t) = \left[(e^{s_2 t} - 1)/s_2 - (e^{s_1 t} - 1)/s_1 \right] / (s_2 - s_1),$$

$$U_{3n}(t) = (e^{s_2 t} - e^{s_1 t}) / (s_2 - s_1),$$

$$U_{4n}(t) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l p_{st,i} e^{-\frac{x_i}{v_n t}} \left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{1i} \\ U_{1n1}(t-t_{1i}), t > t_{1i} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{2i} \\ U_{1n2}(t-t_{2i}), t > t_{2i} \end{array} \right],$$

$$U_{5n}(t) = \frac{1}{l} \sum_{j=1}^J \frac{q_j}{F} e^{-\frac{x_j}{v_n t}}$$

$$\left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{1j} \\ U_{2jn1}(t-t_{1j}) + a U_{1jn1}(t-t_{1j}), t > t_{1j} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} 0, \quad t < t_{2j} \\ U_{2jn2}(t-t_{2j}) + a U_{1jn2}(t-t_{2j}), t > t_{2j} \end{array} \right],$$

де

$$U_{1jni}(t) = \frac{t-t_{ij}}{s_1 s_2} - \frac{e^{s_1 t} - e^{s_1 t_{ij}}}{s_1^2 (s_2 - s_1)} + \frac{e^{s_2 t} - e^{s_2 t_{ij}}}{s_2^2 (s_2 - s_1)},$$

$$U_{2jni}(t) = \frac{1}{s_2 - s_1} \left[\frac{1}{s_2} (e^{s_2 t} - e^{s_2 t_{ij}}) - \frac{1}{s_1} (e^{s_1 t} - e^{s_1 t_{ij}}) \right].$$

Таким чином маса газу в трубопроводі обчислюється за формулою

$$M_{zs} = \frac{Sl}{zRT} \left\{ \left(p_{0k} - \frac{x}{l} h_p \right) t - \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} U_n(t) \right\}.$$

Перетворимо останній вираз таким чином, щоб можна було його використовувати для виявлення витоків газу.

$$M_{zs} = \frac{Sl}{zRT} \left[\left(p_{0k} - \frac{x}{l} h_p \right) t \right] + \frac{2Sc^2}{\pi zRT} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} \left\{ \frac{1}{v_n} [d_1 U_{1n}(t) + d_2 U_{2n}(t) + d_3 U_{3n}(t)] \right\} - \frac{2Sc^2}{\pi zRT} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} \left\{ \frac{1}{v_n} U_{4n}(t) + c^2 U_{5n}(t) \right\}.$$

Аналіз останньої формули показує, що за витоків газу відповідають два доданки - $U_{4n}(t)$ та $U_{5n}(t)$.

Очевидно, що для виявлення витоків газу необхідно, щоб вклад цих двох доданків був більшим за похибку обчислення, а це буде залежати від об'єму витоків q_j ,

зміни тиску в околах витоків $p_{st,i}$ та часу t .

Введемо позначення:

$$M_{zs1} = \frac{Sl}{zRT} \left[\left(p_{0k} - \frac{x}{l} h_p \right) t \right] + \frac{2Sc^2}{\pi zRT} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} \left\{ \frac{1}{v_n} [d_1 U_{1n}(t) + d_2 U_{2n}(t) + d_3 U_{3n}(t)] \right\},$$

$$M_{zs2} = -\frac{2Sc^2}{\pi zRT} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1-(-1)^n}{n} \text{Im} \left\{ \frac{1}{v_n} U_{4n}(t) + c^2 U_{5n}(t) \right\}.$$

Для визначення витоків газу необхідно визначити наступні параметри: місця витоків; об'єми витоків; значення тисків в околах точок витоків; часи появи витоків.

V. АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ВКАЗАНИХ ПАРАМЕТРІВ.

1. За заданими вхідними даними обчислюються величини M_{zs1} та M_{zs2} для різних значень часів.

2. Для тих значень часів t_v , для яких $M_{zs2} \leq M_{zs1}$ визначити параметри витоків неможливо. Для їх визначення необхідно збільшити час дослідження доти, поки не буде виконуватись нерівність $M_{zs2} > M_{zs1}$.

3. Для визначення параметрів витоків будується система алгебраїчних рівнянь (лінійних чи нелінійних).

- [1]. Ya.D.Pyanylo, S.V.Gladun Optimization of energy costs for gas transportation in complex gas transmission systems //ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering 31 | Fascicule 3 Tome XIII [2015] – Fascicule 3 [August].
- [2]. Александров А.В., Яковлев Е.И. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа. – М.: Недра, 1974. – 432 с.
- [3]. Бобровский С. А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором / Бобровский С. А., Щербаков С. Г., Гусейн-Заде М. А. – М. : Наука, 1972. – 192 с.
- [4]. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. – М.: Высшая школа, – 1965. – 466 с.
- [5]. П'янило Я.Д. Дослідження гідравлічного тиску при нестационарному русі газу в горизонтальних трубопроводах // Мат. методи і фіз. мех. поля. – 2004. – Т. 47, №1. – С. 169–174.
- [6]. 6. П'янило Я.Д. Розподіл гідравлічного тиску при нестационарному русі газу в трубопроводах при наявності компресорних станцій та відборів // Нелінійні коливання. – Вип. 2. – 1998. – С. 84–89.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

Modeling of Hydrodynamics Processes with Phase Transitions by Homogenization

Gennadiy Sandrakov

Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv

Kyiv, Ukraine

gsandrako@gmail.com

Моделювання Процесів Гідродинаміки з Фазовими Переходами через Усереднення

Геннадій Сандраков

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Київ, Україна

gsandrako@gmail.com

Abstract—A simulation method of numerical modeling for heterogeneous fluid dynamics processes with take of phase transitions will be presented. The method is based on homogenization on cells and discretization of conservation laws for masses, momentums, and energies in integral and differential forms. The combination of Harlow's particle-in-cell method, Belotserkovskii's large particles method and Bakhvalov's homogenization method is used for computing by the method simulation.

Анотація—Метод чисельного моделювання процесів динаміки неоднорідної рідини з урахуванням фазових переходів буде презентовано. Метод ґрунтується на усередненні на комірках та дискретизації законів збереження маси, моментів і енергії в інтегральній і диференціальній формах. Комбінація методів частинок у комірках Харлоу, методу великих частинок Білоцерківського та метод усереднення Бахвалова використовується при чисельній реалізації цього методу.

Keywords—*modeling, hydrodynamics processes, phase transitions, conservation laws, homogenization method.*

Ключові слова — *моделювання, процеси гідродинаміки, фазові переходи, закони збереження, метод усереднення.*

I. INTRODUCTION

A mathematical and numerical method of simulations for processes of heterogeneous hydrodynamics with take of phase transitions will be discussed. Heterogeneities of the fluids are considered as small drops or particles of one fluid within other fluid. Total number of the drops may be large enough and the drops may have phase transitions. Thus simulations of the main fluid with small transited drops dynamics are considered. Presented method is based on homogenization on cells and relevant approximation of conservation laws for masses, momentums, and energies in integral and differential forms. The approximation is natural and numerical simulations are realized as direct computer

experiments. The method seems to be much more adequate to the physical and mathematical essence of the dynamics because conservation laws are correct on the discrete level.

II. THE SIMULATION METHOD

The method is a combination of the Harlow's particle-in-cell method, Belotserkovskii's large particles method and Bakhvalov's homogenization method (see [1] and [2]), where Euler's and Lagrange's approaches are used simultaneously. Some backgrounds of the combination were presented in [3].

The time approximation in the particle-in-cell method is natural. Simulations are conducted step by step with small enough time interval starting from an initial configuration. The space approximation in the method is more complicated and dynamics are taking into consideration. Fluid region is divided into cells with small size and the fluid filling every such cell is considered as a collection of a few particles or drops. Every such particle have own mass, volume, energy, and coordinates by homogenization that are specified at an initial moment. In addition the density, velocity, and full energy are specified by homogenization also for every such cell at the moment. Corresponding time step of the simulation is split up to three stages so the discrete conservation laws are faithful. For example, total mass of the particles is saved at every time step of such approximation.

On first stage of the time step, intermediate velocities of particles by pressure forces are calculated. This is the Euler's stage for approximations of transport free momentums equations for every sell. On the second stage, motions of the particles by the velocities are taking into account. This is the Lagrange's stage for an approximation of masses equation that is modeling of mass transports from a sell to surrounding sells. On the third stage, moving of the momentums and energy are calculated. This is the concluding stage for approximations of pressure free momentums and energies equations that is modeling of the momentums and energy

transports by the dynamics from a cell to surrounding cells, where the homogenization method is used.

The approximations are rationale from physical and mathematical point of view since conservation laws are correct on the discrete levels during the courses of corresponding numerical simulations. Therefore the particle-in-cell method is effective enough for numerical evaluations of homogeneous fluid dynamics by boundary conditions and external forces. Concrete types of fluid are defined here by a form of state equation. Essential problem is only that total number of particles may be very large. Indeed total number of cells must be large enough for best approximations and the number of particles at every cell must be large enough also. Moreover every such particle must have own mass, volume, energy, and coordinates. Thus there is massive data and the data is recalculated from step to step.

In order to avoid the problem it is possibly to use the large particles method. The time approximation in the method is similar to the one in the particles in cells method. The space approximation in the method is following. Fluid region is divided into cells with small size and the fluid filling every such cell is considered as a large particle or drop. Every such particle have own mass, volume and energy that are specified at an initial moment. In addition the density, velocity, and energy are specified for every such cell at the moment. But the volume of particle is coincided with the volume of cell now by homogenization. Therefore the mass and energy of particle are defined by the ones.

The simulation time step is split up to three stages also and so the discrete conservation laws are faithful. The stages are similar to the stages of the particles in cells method. Modifications are need only for modeling of the mass and momentums transports by the dynamics. For example, the mass transports are calculated as moving of corresponding share of large particle mass from the cell to corresponding surrounding cell. Thus total mass of the fluid under consideration is saved at every time step of such approximation if there are no external mass sources under the simulation of course. For example, the mass sources may be induced by boundary conditions and external forces that lead to corresponding modifications of conservation laws and on the discrete level also. The momentums and energy transports are modeling in similar manners. The approximations are rationale also. Thus the large particles method is effective for simulations of fluid dynamics.

The presented method is designed to numerical modeling of the main fluid with small transited drops dynamics. The time approximation in the method is as in above methods. The space approximation in the method is following. Heterogeneous fluid region is divided into cells with small size. The main fluid filling every such cell is considered as a large particle while the transited drops are considered as the collection of a few "small" particles in the cell. Every large particle have own mass, volume and energy that are specified at an initial moment. Every small particle have own mass, volume, energy, and coordinates that are specified at the moment. In addition the density, velocity, and full energy are specified for every such cell also. This is a combination of above methods at the initial moment.

The simulation time step is split up to three stages with additional preliminary stage. On the preliminary stage, energies of large particle and small particles in every cell are distributed between the particles so that a pressure in the cell is uniform. Indeed the large particle induce some pressure by own state equation and the small particles induce some

pressure by own state equation and it is natural to distribute energies of the particles so that the first pressure coincides with second pressure. Moreover on the stage, it is possible to observe phase transitions of the small particles by the pressure, for example. The phase transitions are realized if the pressure is more than critical pressure by the corresponding phase diagram. In the case the small particles may change own volume, energy, and state equation. Thus the heterogeneous fluid may have three or more phases. The rest stages are similar to stages of the particle-in-cell method.

III. NUMERICAL MODELING

The presented method is designed and developed to numerical modeling of following physical processes [3]. Let consider graphite drops distributing uniformly in some fluid. More exactly, there is heterogeneous medium with graphite particles and the medium may be considered under high pressure as "fluid" with corresponding state equation. For example, we consider a cylinder of the medium that consist of copper with graphite particles. Let the cylinder be in an outside explosive tube device. Inducing shock waves in the outside explosive tube device, we can observe dynamics of such shock waves in computer experiments by the method. Results of some computer experiments may be found in [4].

The results were in agreement with known results of physical experiments. More details of the presented method and other modifications may be found in papers [5, 6]. The presented method was applicable also to numerical simulations of plasma dynamics according to [7]. Alternative methods and corresponding references for the problem may be found in [8], where smoothed particles are used for simulations of hydrodynamics processes.

REFERENCES

- [1]. O. M. Belotserkovskij, Yu. M. Davidov, *The Large Particles Method in Gas Dynamics*. Nauka, Moscow, 1982. (in Russian)
- [2]. N.S. Bakhvalov, G. Panasenko, *Homogenisation: Averaging Processes in Periodic Media*. Kluwer Academic Publishers, Springer Netherlands, 1989.
- [3]. G. V. Sandrakov, *Modeling of Hydrodynamics Processes with Phase Transition*, "Information Technologies and Computer Modelling" Proc Int. Scient. Conference, Ivano-Frankivsk, 14-19 May, pp. 303-306, 2018.
- [4]. S. V. Boyko, G. V. Sandrakov, "Parameter computing of hydrodynamics processes with phase transitions," *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Series: Physics & Mathematics*, Special no. , pp. 11-16, 2013.
- [5]. G. V. Sandrako, S. B. Boyko, "Mathematical modeling of complex heterogeneous fluid dynamics," *Journal Num. and Appl. Math.*, № 1 (104), pp. 109-120, 2011. (in Russian).
- [6]. S. B. Boyko, G. V. Sandrako, "Parameter computing of hydrodynamics processes with phase transitions," *Journal Num. and Appl. Math.*, № 2 (108), pp. 88-109, 2012. (in Russian).
- [7]. S. V. Boyko, V. V. Mischenko, G. V. Sandrakov, "The numerical investigation method for evaporated plasma," *Journal Num. and Appl. Math.*, no. 2 (95) , pp. 3-12, 2007.
- [8]. G. R. Liu, M. B. Liu, *Smoothed particle hydrodynamics. A meshfree particle method*. World Scientific Publishing, New Jersey, 2003.

Утворення Фрактальної Структури Комбінаторних Множин

Н. Тимофієва

відділ комплексних досліджень інформаційних технологій
МННЦІТiС НАН та МОН України
Київ, Україна
TymNad@gmail.com

Formation of Fractal Structure of Combinatorial Sets

N. Tymofijeva

integrated research department of information technology
ISTCITS of NAS and MES of Ukraine
Kiev, Ukraine
TymNad@gmail.com

Анотація – З використанням знакових комбінаторних просторів описано утворення фракталів у комбінаториці. Ця властивість характерна для впорядкованих за строгими правилами комбінаторних множин. Описані ознаки характеризують їхню фрактальну структуру. На основі впорядкування за строгими правилами цих множин введено їхню фрактальну розмірність.

Abstract — The article is devoted to the formation of fractal structures in a combinatorics from a convolute combinatorial space. The formation of these structures is carried out according to strict rules of ordering combinatorial sets, respectively and sign combinatorial spaces, which exist in two states: tranquility (convolute) and dynamics (deployed). The point of these spaces is the combinatorial configurations of different types. In the set of combinatorial configurations, which are ordered by strict rules, it is possible to distinguish the smallest subset, combinatorial configurations in which are formed by the same rules and which is called the zero-rank interval. A certain number of zero-rank intervals form the first-rank interval, the latter form the second-rank interval, etc. An interval of the $(\sigma - 1)$ rank is formed from the intervals of the σ rank. As a result, we obtain sets that can be submitted in geometric forms, the largest of which contains reduced copies, and such identical copies in the combinatorial set can be many. Therefore, it is characterized by self-similarity. The combinatorial set for a fixed n is finite and for an arbitrary set is infinite, that is, it is both finite and infinite. This property is characteristic of fractals. It follows that a certain ordering of combinatorial configurations using the periodicity property forms a combinatorial set that is fractal in nature. We consider combinatorial sets to be self-similar if their elements are formed by the same recurrent combinatorial operator, and their ordering is carried out according to the same rules. They are both finite and infinite, and inherent in their self-similarity, which is characteristic of fractal structures.

Fractals are characterized by fractional dimension or dimension of similarity. The fractal dimension of sign combinatorial spaces follows from the way they are expanded from convolute. This space, respectively the fractals in the combinatorics, is filled by combinatorial configurations of a certain type. Therefore, for them the fractal dimension is the number of combinatorial configurations in a combinatorial set formed by certain rules.

Ключові слова — комбінаторика, фрактали, комбінаторні конфігурації, знаковий комбінаторний простір, фрактальна розмірність знакових комбінаторних просторів

Keywords — *combinatorics, fractals, combinatorial configurations, sign combinatorial space, fractal dimension of sign combinatorial spaces*

I. ВСТУП

Описано утворення фрактальних структур із згорнутого комбінаторного простору в комбінаториці. Утворення цих структур проводиться за строгими правилами, в яких використано властивість періодичності упорядкування комбінаторних множин, відповідно і знакових комбінаторних просторів, які існують в двох станах: згорнутому (спокій) та розгорнутому (динаміці) [1]. Точкою оговорених просторів є комбінаторні конфігурації різних типів. Показано, що вони одночасно є скінченними та нескінченними і для них властива самоподібність, що характерно для фрактальних структур. Тобто, описані простори утворюються рекурсивними процедурами та містять інші подібні фрактали всередині себе. Для них введено фрактальну розмірність, яка відповідає кількості комбінаторних конфігурацій, які заповнюють знаковий комбінаторний простір.

Оскільки точкою знакових комбінаторних просторів є комбінаторні конфігурації, нижче розглянемо динаміку їхнього утворення та впорядкування.

II. КОМБІНАТОРНІ КОНФІГУРАЦІЇ ТА ЇХ УТВОРЕННЯ

Комбінаторною конфігурацією назвемо будь-яку сукупність елементів, яка утворюється з усіх або з деяких елементів заданої множини $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ [2]. Позначимо її впорядкованою множиною $w^k = (w_1^k, \dots, w_{\eta^k}^k)$. Верхній індекс k ($k \in \{1, \dots, q\}$) в w^k – порядковий номер w^k в W , q – їхня кількість. Множину $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ назвемо базовою. Під символом $w_i^k \in A$ розуміємо як окремі елементи, так і підмножини (блоки), $\eta^k \in \{1, \dots, n\}$ – кількість елементів у $w^k \in W$. Залежно від умови задачі η позначатимемо без індексу або з верхнім індексом η^k . Дві нетотожні комбінаторні конфігурації w^k та w^i назвемо ізоморфними, якщо $\eta^k = \eta^i$.

Комбінаторні конфігурації будь-якого типу формуються з елементів базової множини характерною для кожного з них операцією. Одні з цих операцій змінюють порядок розміщення в них елементів, інші змінюють їхній склад.

Для комбінаторних конфігурацій не виконуються аксіоми, що характерні для векторів, тому ці конструкції не є векторами.

Рекурентним комбінаторним оператором назвемо сукупність правил, за допомогою яких з елементів базової множини A утворюється комбінаторна конфігурація w^k .

Різноманітні типи комбінаторних конфігурацій утворюються за допомогою трьох рекурентних комбінаторних операторів: вибирання, транспозиція, арифметичний.

Комбінаторні конфігурації w^k з елементів базової множини A утворюються рекурентним комбінаторним оператором вибирання.

Комбінаторна конфігурація w^k у множині W утворюється з $w^j \in W$, $k < i$, рекурентним комбінаторним оператором транспозиції або арифметичним. Початкова w^1 утворюється з елементів множини A операцією вибирання.

Якщо комбінаторні конфігурації у множині W утворені кількома рекурентними комбінаторними операторами, то це – або операція вибирання або арифметична. Вони утворюють як ізоморфні так і неізоморфні $w^k \in W$. Рекурентні комбінаторні оператори вибирання та арифметичний також породжують як ізоморфні, так і неізоморфні комбінаторні конфігурації $w^k \in W$.

Підмножину $W_{\eta} \subset W$ назвемо підмножиною ізоморфних комбінаторних конфігурацій, якщо її елементи

– ізоморфні комбінаторні конфігурації. Множина W складається з підмножин ізоморфних комбінаторних конфігурацій W_{η} , елементи яких утворені кількома рекурентними комбінаторними операторами.

Операція транспозиції змінює лише порядок слідування елементів у $w^k \in W$, тому множина перестановок W є множиною ізоморфних комбінаторних конфігурацій.

III. ВПОРЯДКУВАННЯ КОМБІНАТОРНИХ КОНФІГУРАЦІЙ

У природі існує скінченне число множин комбінаторних конфігурацій одного і того ж типу, кожна з яких може бути впорядкована різними способами. Як показав аналіз цих множин, вони можуть упорядковуватися одними і тими самими процедурами, тобто існують закономірності їхнього генерування. Однією з таких закономірностей є властивість періодичності, яка впливає з рекурентного способу утворення та впорядкування комбінаторних конфігурацій.

Генерування комбінаторних конфігурацій включає:

а) правила, за якими формуються комбінаторні конфігурації, тобто визначаються рекурентні комбінаторні оператори;

б) правила, за якими упорядковуються комбінаторні об'єкти. Ці правила визначаються на основі аналізу структури певної множини.

Упорядкуємо множину W комбінаторних конфігурацій w^k , $k \in \{1, \dots, q\}$, так, що наступна комбінаторна конфігурація w^{k+1} формується з попередньої w^k або з базової множини A характерним для заданого їхнього типу рекурентним комбінаторним оператором (транспозицією, вибиранням або арифметичним оператором).

Оскільки в упорядкованій комбінаторній множині w^k розміщені в певному порядку, то при розробці процедур їхнього генерування множину A , з елементів якої оператором вибирання утворюються w^k , розглянемо як упорядковану і позначимо її $A = (a_1, \dots, a_n)$. Комбінаторну конфігурацію $w^k = (w_1^k, \dots, w_{\eta^k}^k) \in W$ також вважаємо впорядкованою.

У будь-якій впорядкованій множині комбінаторних конфігурацій виділимо інтервал $L_{b,c}$ ($b < c$) – підмножину впорядкованих w^k з початковим номером b і кінцевим c . Його довжиною назвемо кількість комбінаторних конфігурацій, які містяться в цьому інтервалі включаючи b та c .

У множині комбінаторних конфігурацій виділимо найменшу підмножину, комбінаторні конфігурації в якій утворюються за одним і тим же правилом. Наприклад у множині перестановок наступна перестановка формується з попередньої однією транспозицією двох сусідніх

(першого і другого, або другого і третього) елементів. Назвемо цю підмножину інтервалом нульового рангу. Певна кількість інтервалів нульового рангу утворює інтервал першого рангу, останні утворюють інтервал другого рангу і т. д. З інтервалів $(\sigma-1)$ -го рангу утворюється інтервал σ -го рангу. Відповідно інтервали більшого рангу розбиваються на інтервали меншого рангу.

Отже, множина W для перестановок (або підмножина $W_n \subset W$ будь-якого типу комбінаторних конфігурацій) впорядковується інтервалами нульового рангу і процес їхнього впорядкування є періодичний. Інтервал σ -го рангу впорядкованої множини всіляких комбінаторних конфігурацій складається з інтервалів $(\sigma-1)$ -го рангу. Звідси випливає така властивість.

Властивість періодичності впорядкування комбінаторних множин випливає з рекурентного способу утворення комбінаторних конфігурацій та полягає в тому, що ці множини впорядковані інтервалами, в кожному з яких комбінаторні конфігурації утворюються за одними і тими самими правилами.

Для генерування множин комбінаторних конфігурацій з урахуванням властивості періодичності необхідно сформулювати три правила, за якими утворюються:

- а) інтервал нульового рангу,
- б) обмежувальна комбінаторна конфігурація (перша в інтервалі нульового рангу),
- в) інтервал σ -го рангу.

Ці правила розробляються для певної множини, причому вони відрізняються як для різних типів комбінаторних конфігурацій так і для різних впорядкувань одного і того ж типу w^k . Але в них спільним є те, що отримана множина W (або підмножина $W_n \subset W$) містить в собі подібні підмножини.

IV. ФРАКТАЛИ

Точного означення фракталів ще не сформульовано, тому наведемо їхнє емпіричне означення. Фрактали це – фігури, які є результатом математичних процесів, які повторюються, володіють самоподібністю в будь-якому вимірі та мають фрактальну розмірність [3]. Під цими об'єктами ще розуміють структуру, яка складається з частин, які в деякій мірі подібні цілому. З допомогою фракталів встановлюється зв'язок між геометриями різних масштабів та дають відповідь на питання: як мікроскопічна поведінка системи зв'язана з тим, що спостерігається в макроскопічному масштабі.

Фрактали розділяють на такі типи: самоповторні, лінійні, самоподібні, квазісамоподібні, статистично самоподібні. Самоподібні фрактали містять зменшені копії фігури, які змінені з допомогою нелінійних функцій. Квазісамоподібні містять зменшені та деформовані копії усієї фігури та утворені за допомогою рекурсивних процедур.

Згідно з цією класифікацією, комбінаторні множини, відповідно і знакові комбінаторні простори можна віднести як до самоподібних так і квазісамоподібних фракталів. Вони утворюються рекурсивними процедурами, характеризуються самоподібністю, одночасно скінченні та нескінченні, містять інші фрактали всередині себе. При їхньому впорядкуванні у множині можна виділити внутрішні (закриті) точки і зовнішні, орбіта яких виходить в безкінечність.

V. ФРАКТАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМБІНАТОРНИХ МНОЖИН

В літературі описано геометричні фігури, які мають фрактальну структуру, але не описано, як ці структури утворюються. За допомогою знакових комбінаторних просторів, які існують в двох станах: згорнутому та розгорнутому, можна прослідкувати, як утворюються із згорнутого фрактальні структури в природі, зокрема в біології [1. 4]. Наведемо аксіоми цих просторів.

1. Знакові комбінаторні простори існують в двох станах: спокої (згорнутий) та динаміці (розгорнутий).

2. Згорнутий простір задається інформаційним знаком $\mathfrak{R} = \langle A, T, R, \Xi \rangle$, який містить властивості розгорнутого простору певного типу, де A – одна або кілька базових множин, з елементів $a_j \in A_j \subset A$, яких утворюються розгорнуті комбінаторні простори, $j \in \{1, \dots, n\}$, $l \in \{1, \dots, \tilde{q}\}$, \tilde{q} – кількість базових множин; T – тип знакового комбінаторного простору; R – правила розгортання знакового комбінаторного простору; Ξ – правила згортання знакового комбінаторного простору.

3. Утворення із згорнутого розгорнутих знакових комбінаторних просторів проводиться за рекурентними правилами. Точкою розгорнутого простору є комбінаторна конфігурація певного типу. Розгортанню комбінаторного простору характерна властивість періодичності, яка впливає з рекурентного способу утворення та впорядкування комбінаторних конфігурацій.

4. Згортання знакового комбінаторного простору певного типу проводиться з точок як одного так і кількох просторів. Згорнутий простір має властивості просторів, з яких він згорнувся.

В процесі впорядкування комбінаторних конфігурацій з використанням властивості періодичності утворюється комбінаторна множина, яка містить в собі менші, подібні підмножини, тобто вона має фрактальну природу. Вважаємо, що комбінаторні множини *самоподібні*, якщо їхні елементи утворюються одним і тим же рекурентним комбінаторним оператором, а їхнє впорядкування проводиться за одними і тими ж правилами.

Згідно з властивістю самоподібності інтервал σ -го рангу упорядкованої множини W складається з інтервалів $(\sigma-1)$ -го рангу. Оскільки число n може набувати довільних значень, то W для n фіксованого – скінченна,

а для n довільного – нескінченна, тобто вона одночасно – скінченна та нескінченна, Підмножина W_n розміщень з повтореннями (або сполучень з повтореннями, розбиття n -елементної множини на підмножини) – скінченна, а множина W цих же комбінаторних конфігурацій для того ж самого n – нескінченна. Такі властивості характерні для фракталів. Тобто, комбінаторні множини мають фрактальну природу.

Оскільки інтервал σ -го рангу складається з інтервалів $(\sigma-1)$ -го рангу, а інтервал 1-го рангу – з інтервалів нульового рангу, нескладно, знаючи правила їхнього впорядкування, визначити кількість комбінаторних конфігурацій у їхній множині. За певними правилами, які різні для різних типів комбінаторних конфігурацій, утворюємо скінченну послідовність, кожне значення якої задає кількість w в інтервалах σ -го рангу. Формулу комбінаторного числа (кількість w у множині W) подамо σ -значною сумою

$$\sum_{j_\sigma=1}^{H_\sigma} \left(\sum_{j_{\sigma-1}=1}^{H_{\sigma-1}} \left(\dots \left(\sum_{j_2=1}^{H_2} \left(\sum_{j_1=1}^{H_1} (h) \right) \dots \right) \right) \right), \quad (1)$$

де H_t – кількість інтервалів σ -го рангу, $t \in \{1, \dots, \sigma\}$, $\sigma \in \{2, \dots, n\}$, h – кількість комбінаторних конфігурацій в інтервалі нульового рангу. Цей вираз наглядно показує, що комбінаторна множина має фрактальну структуру.

VI. ФРАКТАЛЬНА РОЗМІРНІСТЬ ЗНАКОВИХ КОМБІНАТОРНИХ ПРОСТОРІВ

Фрактали, як правило, ототожнюються з геометричними формами. Основна їхня характеристика – самоподібність. Фрактальну розмірність розглядають з точки зору топології. Вона являє собою дробну розмірність або розмірність подібності. Звідси походження слова фрактал. Тобто, фрактальна розмірність – поняття фрактальної геометрії, що означає статистичну величину, яка говорить про те наскільки повно фрактал заповнює

простір, коли збільшувати його до дрібніших деталей. Дробна розмірність Хаусдорфа-Безиковича множини є критична розмірність, при якій міра змінює своє значення з нуля на безкінечність. Вона досить природно визначає розмірність множини у метричному просторі та служить мірою локального розміру набору чисел (тобто «простір»), беручи до уваги відстань між кожним з її елементів. Як фрактальну розмірність також використовують розмірність Мінковського, яка має місце в замкнених множинах.

Знакові комбінаторні простори не є метричними. Їхня фрактальна розмірність впливає із способу розгортання цих просторів із згорнутого. Цей простір, відповідно і фрактал в комбінаториці заповнюється комбінаторними конфігураціями певного типу. Тому для них фрактальною розмірністю назовемо кількість комбінаторних конфігурацій в утвореній за певними правилами комбінаторній множині, які задаються виразом (1).

ВИСНОВКИ

Отже, розгорнутий знаковий комбінаторний простір має фрактальну структуру. Вони – самоподібні, одночасно скінченні і нескінченні, мають фрактальну розмірність. Вивчення та дослідження знакових комбінаторних просторів дозволяє пояснювати деякі природні явища, пов'язані з фракталами, особливо у живій природі. За їх допомогою можна прослідкувати, як утворюються фрактали із згорнутого простору та визначити їхню фрактальну розмірність.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Тимофієва Н.К. Знакові комбінаторні простори та штучний інтелект. Штучний інтелект. 2015. № 1-2 (67-68). С.180–189.
- [2]. Тимофієва Н.К. Теоретико-числові методи розв'язання задач комбінаторної оптимізації. автореф. дис... докт. техн. наук: 01.05.02. Київ, 2007. 32 с
- [3]. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. 656 с.
- [4]. Тимофієва Н.К. Про комбінаторні числа та симетрію в біології. Штучний інтелект. 2018. № 81 (2018'3). – С.87–95.

Моделювання Конвективної Дифузії Забруднень у Двошарових Фільтрах Води за Апроксимації Граничної Умови на Невідомому Часовому Інтервалі

Ольга Чернуха

Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики ім.
Я.С. Підстригача НАН України
кафедра обчислювальної математики і програмування
Національний університет “Львівська політехніка”,
Львів, Україна
zaliznuchna6@gmail.com

Юрій Білушак

Відділ математичного моделювання нерівноважних процесів
Центр математичного моделювання
Інституту прикладних проблем механіки і математики ім.
Я.С. Підстригача НАН України
кафедра обчислювальної математики і програмування
Національний університет “Львівська політехніка”,
Львів, Україна
byixx13@gmail.com

Modeling of Convective Diffusion of Pollution in Two-Layered Water Filters With Approximation of Boundary Condition at Unknown Time-Interval

Olha Chernukha

Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y. S. 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

Yurii Bilushchak

Department of mathematical modeling of nonequilibrium processes
Centre of Mathematical Modelling of Y. S. 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

Abstract— On the basis of mathematical model of convective diffusion in a two-layered filter it is formulated a contact-initial-boundary value problem for description of mass transfer of pollution accompanying by the sorption processes. It is proposed the algorithm for establishing the estimation of values of sought function (concentration of pollution) at the lower boundary of the filter on the basis of the approximation of experimental data. It is taken into account that the right end of the approximation segment is unknown. It is determined the exact solutions of contact-initial-boundary value problems of mass transfer on the basis of integral transformations over space variables in the contacting regions separately.

Анотація- На основі математичної моделі конвективної дифузії у двошаровому фільтрі сформульована контактнокрайова задача для опису масоперенесення забруднення, що супроводжується сорбційними процесами. Запропоновано алгоритм встановлення значень шуканої функції (концентрації забруднення) на нижній межі фільтра на основі апроксимації експериментальних даних. Враховується, що правий кінець інтервалу апроксимації невідомий. Визначено точні розв'язки контактнокрайової задачі масоперенесення на основі інтегральних перетворень за просторовими змінними окремо в контактуючих областях.

Keywords— mathematical model; convective diffusion; two-layered water filter; approximation; boundary condition; unknown time-interval.

Ключові слова— математична модель; конвективна дифузія; двошаровий фільтр води; апроксимація; гранична умова; невідомий часовий інтервал.

I. ВСТУП

У промислових масштабах для очищення води до стану питної, а також промислових і побутових каналізаційних стоків для вторинного використання застосовуються різні способи очищення води: механічні, фізичні, фізико-механічні, фізико-хімічні, хімічні або біологічні. На етапі попередньої очистки води найчастіше використовуються механічні фільтри, призначені для видалення нерозчинених часток розміром понад 5-50 мікрон, одним з різновидів яких є насипні фільтри [1, 2], що складаються із зернистих засипок різних фільтраційних властивостей і володіють різною пористістю.

Для розрахунку ефективної роботи фільтрів, їхніх оптимальних геометричних параметрів, сорбційної здатності конструкційних елементів, часу роботи фільтра, як правило, використовують комп'ютерне моделювання, розв'язуючи числовими методами нелінійні задачі фільтрації питних або стічних вод. Разом з тим для аналізу впливу пористості, сорбційних властивостей та геометричних параметрів фільтра на довговічність його роботи доцільно отримати аналітичні розв'язки аналогічних задач у лінеаризованому варіанті опису процесів сорбції. З іншого боку залишається невирішеною проблема встановлення граничної умови «на виході» фільтра води. Проте можливе проведення експериментів з визначення концентрації забруднення або потоків домішки через нижню границю тіла.

Тому дана робота присвячена моделюванню функціонування двошарових фільтрів води на основі фізико-математичної моделі конвективної дифузії домішкової речовини з урахуванням сорбції частинок на скелет, коли водний розчин є двокомпонентним, а тіло – двошаровим. При цьому запропонована схема визначення граничної умови на нижній поверхні фільтра на основі апроксимаційних процедур експериментальних даних концентрації забруднення на цій границі з урахуванням невідомого часу виходу функції концентрації на усталений режим.

II. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНВЕКТИВНОЇ ДИФУЗІЇ З УРАХУВАННЯМ СОРБЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ВІДОМІ КРАЙОВІ І КОНТАКТНІ УМОВИ

При формулюванні вихідних співвідношень моделі перенесення частинок забруднення в двошаровому фільтрі вважаємо, що довільна область кожного шару складається зі скелету та водного розчину, який заповнює поровий простір. Приймаємо, що в процесі фільтрації скелет не деформується, і пористість залишається сталою, тобто не враховуються зміни, пов'язані із сорбцією домішкової речовини. Водний розчин є двокомпонентним і складається з частинок води та забруднюючої субстанції. Частинки забруднення знаходяться у двох станах – конвективно рухомому розчині і на поверхні скелету.

Розглянемо шар безрозмірної товщини x_0 , що складається з двох підшарів товщин x' та δx ($\delta x = x_0 - x'$) відповідно (рис. 1). Система декартових координат вибрана так, щоб вісь Ox була перпендикулярна до поверхонь шару з початком на верхній границі і спрямована вглиб тіла. Вважаємо, що в початковий момент часу в обох шарах фільтра відсутня домішкова речовина, тобто концентрації $c_j^{(i)}(t, x)$ є нульовими (нижній індекс позначає стан частинок - $i=1$ відповідає водному розчину, $i=2$ поверхні скелету; верхній індекс позначає номер підшару фільтра: $j=1$ - для $\Omega_1 =]0; x'[$, $j=2$ - для $\Omega_2 =]x'; x_0[$):

$$c_1^{(j)}(\tau, \xi) \Big|_{\tau=0} = c_2^{(j)}(\tau, \xi) \Big|_{\tau=0} = 0. \quad (1)$$

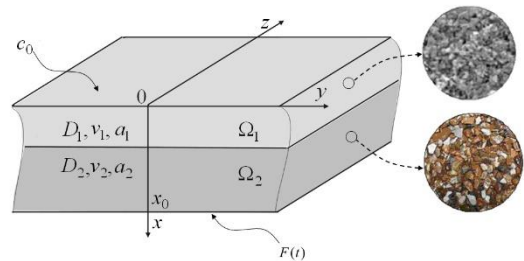


Рис. 1. Схематична модель двошарового засипного фільтра води

Також приймаємо, що на верхній поверхні тіла відомо сталі значення концентрації домішки $c_1^{(1)}(t, x)$:

$$c_1^{(1)}(t, x) \Big|_{x=0} = c_0 \equiv \text{const}. \quad (2)$$

У випадку вертикальної конвективної дифузії масоперенесення домішок описують системи рівнянь [3]:

$$\frac{\partial c_1^{(j)}(t, x)}{\partial t} = d_j \frac{\partial^2 c_1^{(j)}(t, x)}{\partial x^2} - v_j \frac{\partial c_1^{(j)}(t, x)}{\partial x} - a_j c_1^{(j)}(t, x),$$

$$\frac{\partial c_2^{(j)}(t, x)}{\partial t} = a_j c_1^{(j)}(t, x), \quad x \in \Omega_j \quad (j=1;2), \quad (3)$$

де d_j і v_j - коефіцієнти дифузії домішки і швидкості конвективного перенесення в шарі j , a_j - коефіцієнти інтенсивності сорбції.

На границі контакту шарів $x = x'$ виконується умова рівностей хімічних потенціалів і сумарних масових потоків, які запишемо вигляді

$$\lambda c_1^{(1)}(t, x) \Big|_{x=x'} = c_1^{(2)}(t, x) \Big|_{x=x'};$$

$$d_1 \frac{\partial c_1^{(1)}}{\partial x} - v_1 c_1^{(1)} \Big|_{x=x'} = d_2 \frac{\partial c_1^{(2)}}{\partial x} - v_2 c_1^{(2)} \Big|_{x=x'}, \quad (4)$$

де $\lambda = \lambda_1/\lambda_2$ - відношення коефіцієнтів концентраційної залежності хімічних потенціалів в станах 1 і 2, які визначають величину стрибка на границі контакту.

На нижній границі фільтра, взагалі кажучи, невідомі значення як концентрації забруднення, так і відповідних потоків маси. Для визначення значення шуканої функції на границі $x = x_0$ ми пропонуємо наступний алгоритм.

III. ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНОЇ УМОВИ НА НИЖНІЙ ПОВЕРХНІ ТІЛА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИМИ ДАНИМИ

Функція концентрації частинок $F(t)$ на границі $x = x_0$ є неперервною або кусково-неперервною функцією часової змінної, тобто належить простору $PC[0;T]$, $t < T < \infty$. Разом з тим, для малих часів вона дорівнює нулю, якщо розглядаються процеси протікання забрудненої рідини через фільтр за нульових початкових умов. Тоді потрібний час, за який речовина досягне нижньої границі тіла, і відповідно її концентрація на цій межі почне відрізнятися від нуля. Розглянемо випадок, коли шукана функція концентрації на границі виходить на стаціонарний режим (для фільтрів завжди існує час насичення, після якого втрачаються сорбуючі властивості фільтра).

Нехай відомо (або можна виміряти) значення функції концентрації на границі $x = x_0$ в певні моменти часу

t	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	...	t_n
$F(t)$	0	0	0	$F(t_4)$	$F(t_5)$...	$F(t_n)$

Значимо, що у випадку проведення декількох серій експериментів приймаємо

$$F(t_j) = \frac{1}{K_j} \sum_{i=1}^{K_j} F^{(i)}(t_j), \quad j = 1, \dots, n,$$

де i - номер серії експерименту, $i = 1, \dots, K_j$, K_j - кількість вимірів в точці t_j .

Маючи набір експериментальних (вимірних) даних можемо побудувати апроксимаційну функцію. Знайдемо апроксимаційний поліном з використанням методу найменших квадратів для оптимального визначення параметрів апроксимаційної функції.

Нехай задані експериментальні дані ($n=9$ - кількість вимірів)

t	0.02	0.06	0.1	0.14	0.18	0.22	0.26	0.3	0.34
$F(t) \times 10^{+10}$	0.014	0.015	0.02	0.033	0.65	0.98	1.24	1.29	1.3

У графічному вигляді маємо

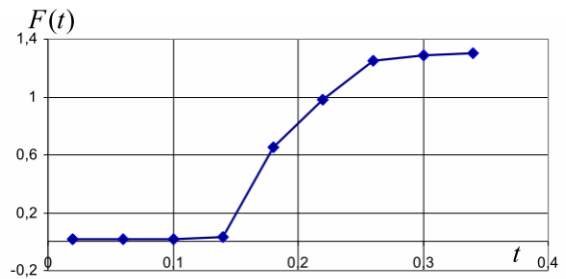


Рис. 2. Задані експериментальні дані

Результат апроксимації цих даних поліномом п'ятої степені

$$F(t) = a_0 t^5 + a_1 t^4 + a_2 t^3 + a_3 t^2 + a_4 t + a_5, \quad (5)$$

де коефіцієнти знайдені за правилом Крамера $a_0 = 14279,09655$; $a_1 = -13097,26244$; $a_2 = 4130,984575$; $a_3 = -507,1611396$; $a_4 = 23,52842174$; $a_5 = -0,286711311$.

Апроксимуючий поліном отриманий методом найменших квадратів

$$f(a_1, \dots, a_5) = \sum_{i=1}^n \left[F(t_i) - \sum_{k=0}^5 a_k t_i^{5-k} \right]^2 \xrightarrow{\{a_k\} \in R} \min.$$

Дані, що обчислені за результатами апроксимації многочленом п'ятої степені, наведені в таблиці

t	$F(t) \times 10^{+10}$
0,02	0,011991
0,04	0,075284
0,06	0,032869
0,08	-0,02488
0,1	-0,04143
0,12	0,011382
0,14	0,138851
0,16	0,328874
0,18	0,557436
0,2	0,794095
0,22	1,007464
0,24	1,170693
0,26	1,266956
0,28	1,294928
0,3	1,274275
0,32	1,251132
0,34	1,30359

і графічно

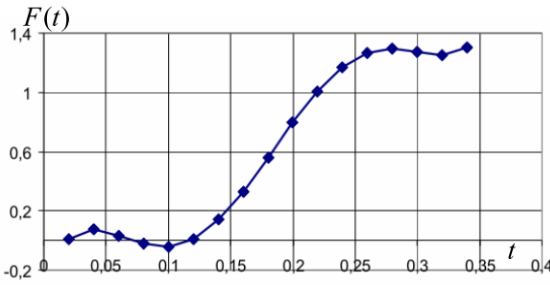


Рис. 3. Апроксимація многочленом п'ятої степені

Зауважимо, що хоча вважається, що поліномом п'ятої степені адекватно апроксимується неперервна функція в рівномірній метриці [4], для отримання точнішого результату апроксимації можна підняти степінь многочлена до 7 або 9, або вибрати нелінійну апроксимаційну функцію (для даного випадку, наприклад, $arctg$) і застосувати метод вирівнювання [5]. При цьому необхідно враховувати, що апроксимаційна функція має бути зручною при подальшому застосуванні методу інтегральних перетворень, у т.ч. неklasичних.

Правий кінець відрізка апроксимації (точка t_e), насправді, є невідомим. Відповідно невідомий момент часу припинення експериментальної серії. Враховуючи мету дослідження, тобто встановлення параметрів роботи фільтра, використаємо існування часу насичення фільтра, тобто втрату сорбційної здатності. Після часу насичення t_p , який теж є невідомим, в тілі відбувається лише процес конвективної дифузії частинок забруднення, а процес очищення забрудненого розчину припиняється. Відповідно потрібно припинити експериментальні вимірювання та завершити роботу фільтра.

Для оцінки зверху функції концентрації домішки на нижній границі тіла та визначення оціночного часу насичення t_p розв'яжемо спрощену (без урахування сорбції) задачу конвективної дифузії у двошаровому тілі за контактних та крайових умов (1)-(4) і граничної умови на потік, запропонованою в роботі [6]. А саме

в області Ω_1 ($x \in \Omega_1$) $\Omega_1 =]0; x' [$:

$$\frac{\partial c_{1est}^{(1)}(t, x)}{\partial t} = d_1 \frac{\partial^2 c_{1est}^{(1)}(t, x)}{\partial x^2} - v_1 \frac{\partial c_{1est}^{(1)}(t, x)}{\partial x}, \quad (6)$$

в області Ω_2 ($x \in \Omega_2$) $\Omega_2 =]x'; x_0 [$:

$$\frac{\partial c_{1est}^{(2)}(t, x)}{\partial t} = d_2 \frac{\partial^2 c_{1est}^{(2)}(t, x)}{\partial x^2} - v_2 \frac{\partial c_{1est}^{(2)}(t, x)}{\partial x} \quad (7)$$

за контактних умов (4), початкових умов (1) та граничної умови (2) на верхній поверхні фільтра.

На нижній границі тіла підтримується стале значення дифузійного потоку (нехтується конвективною складовою [6]), тобто

$$\left. \frac{\partial c_{1est}^{(2)}(t, x)}{\partial x} \right|_{x=x_0} = 0. \quad (8)$$

Розв'язуємо контактну-крайову задачу (1), (2), (4), (7)-(8) методом інтегральних перетворень окремо в контактуючих областях [7]. І для визначення t_p , тобто час виходу на стаціонарний режим (визначення концентрації з певною точністю), прийнемо, що різниця між концентраціями в біжучий момент часу і часу насичення t_p , менше наперед заданого числа $\varepsilon > 0$

$$\left| c_{1est}^{(2)}(t, x_0) - c_{1est}^{(2)}(t_p, x_0) \right| < \varepsilon.$$

Далі будемо апроксимаційну функцію (5) на відріжку $[0, t_p]$, тобто отримаємо наближену функцію $F(t)$.

Тоді гранична умова на нижній поверхні фільтра набуває вигляду.

$$c_1^{(2)}(t, x) \Big|_{x=x_0} = F(t, t_p), \quad t \in [0; t_p]. \quad (9)$$

IV. РОЗВ'ЯЗАННЯ СФОРМУЛЬОВАНОЇ КОНТАКТНО-КРАЙОВОЇ ЗАДАЧІ

Для застосування інтегральних перетворень в контактуючих областях Ω_1 і Ω_2 потрібно доозначити шукані функції $c_1^{(j)}(t, x)$ на границі контакту. Перша умова неідеального масового контакту (4) означає, що функції $\lambda c_1^{(1)}(t, x)$ і $c_1^{(2)}(t, x)$ рівні на границі $x = x'$, і у свою чергу дорівнюють певній функції часу $g(t)$. Тобто можемо записати

$$c_1^{(1)}(t, x) \Big|_{x=x'} = \frac{1}{\lambda} g(t), \quad c_1^{(2)}(t, x) \Big|_{x=x'} = g(t).$$

Тоді можемо застосувати скінченні інтегральні sin-перетворення Фур'є (класичне – в області Ω_1 і зі зсувом – в області Ω_2 [7]).

В зображеннях отримаємо в області Ω_1

$$\frac{d\bar{c}_1}{dt} = -(d_1 y_n^2 + a_1) \bar{c}_1 + d_1 y_n c_0 - d_1 y_n \frac{(-1)^n}{\lambda} g(\tau) e^{-\frac{v_1 x'}{2d_1}}, \quad (10)$$

$$\bar{c}_1(n, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad (11)$$

$$\text{де } \bar{c}_1(n, t) = \int_0^{x'} c_1^{(1)}(x, t) \exp\left\{-\frac{v_1 x}{2d_1}\right\} \sin(y_n x) dx, \quad y_n = n\pi/x_0.$$

Розв'язок задачі (10), (11) знаходимо у вигляді [8]

$$\bar{c}_1(n, t) = e^{-(d_1 y_n^2 + a_1)t} \int_0^t d_1 y_n^2 \left[c_0 - \frac{(-1)^n}{\lambda} g(t') \exp\left\{-\frac{v_1 x'}{2d_1}\right\} \right] \times$$

$$\times e^{(d_1 y_m^2 + a_1) t'} dt'.$$

В області Ω_2 крайова задача в зображеннях набуває вигляду

$$\frac{d\bar{c}_2}{dt} = -(d_2 y_m^2 + a_2) \bar{c}_2 + d_2 y_m \left[g(t) - (-1)^m F(t, t_p) e^{-\frac{v_2(x-x')}{2d_2}} \right], \quad (12)$$

$$\bar{c}_2(m, t)|_{t=0} = 0, \quad (13)$$

де $\bar{c}_2(m, t) = \int_{x'}^{x_0} c_1^{(2)}(t, x) \exp\left\{-\frac{v_2(x-x')}{2d_2}\right\} \sin(y_m(x-x')) dx,$
 $y_m = m\pi/(x_0 - x').$

Розв'язок задачі (12), (13) запишемо у формі [8]

$$\bar{c}_2(m, t) = e^{-(d_2 y_m^2 + a_2) t} \int_0^t d_2 y_m^2 \times \left[g(t') - (-1)^m F(t, t_p) \exp\left\{-\frac{v_2(x-x')}{2d_2}\right\} \right] e^{(d_2 y_m^2 + a_2) t'} dt'.$$

В отриманих розв'язках залишається невідомою функція $g(t')$. Шукаємо її з другої контактної умови рівності

потоків маси на границі розділу областей (4). Після виконання відповідних обернених перетворень підставляємо отримані вирази для концентрацій та їхніх похідних в точці $x = x'$ в умову (4). Тоді одержимо інтегральне рівняння, яке розв'язуємо відносно функції $g(t')$. Зауважимо, що розв'язки в областях Ω_1 і Ω_2 мають однакову структуру, два доданки яких залежать тільки від характеристик відповідного шару, а одна інтегральна складова враховує вплив параметрів контактуючої області та умов контакту.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Advanced Wastewater Treatment Technologies [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.waterform.com.au/Products/10004/nextSand.aspx>
- [2]. Журба М. Основы процессов доочистки сточных вод фильтрованием // Тепло- и массообмен в капиллярнопористых телах. – 1965. – № 1. – С. 60-73.
- [3]. Чапля Є., Чернуха О. Фізико-математичне моделювання гетеродифузного масопереносу. – Львів: СПОЛОМ, 2003. – 128 с.
- [4]. Milovanovic G. Numerical Methods and Approximation theory. – Yugoslavia: Faculty of Electronic Engineering, 1984. – 199p.
- [5]. Roland H. C. Yarp Parametric Sequence Alignment with Constraints // Constraints. - 2001. - Vol. 6, P. 157–172.
- [6]. Bomba A., Safonyk A. Modelling of processes of liquids cleaning from multicomponent impurities in sorption filters?, Physical and mathematical model and information technology. Lviv, Issue 16, pp. 32-41, 2012.
- [7]. Чапля Є., Чернуха О. Математичне моделювання дифузійних процесів у випадкових і регулярних структурах. – Київ: Наукова думка, 2009. – 302 с.
- [8]. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. – М.: Наука, 1985. – 304 с.

Моделювання Еволюції Поодиноких Хвиль в Конструкційних Матеріалах. Перші Три Наближення

Василь Юрчук
відділ реології, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка,
Національна академія наук України
Київ, Україна
reol@inmech.kiev.ua

Ярема Рушицький
відділ реології, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка,
Національна академія наук України
Київ, Україна
rushch@inmech.kiev.ua

Modeling the Evolution of Solitary Waves in the Engineering Materials. First Three Approximations

Vasyl Yurchuk
Department of Rheology, S.P.Timoshenko Institute of
Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
reol@inmech.kiev.ua

Jeremiah Rushchitsky
Department of Rheology, S.P.Timoshenko Institute of
Mechanics, National Academy of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine
rushch@inmech.kiev.ua

Анотація – Теоретично і чисельно досліджується нелінійна поздовжня пружна хвиля зміщення в рамках моделі Мурнагана для двох типів початкового профілю – гармонічного та дзвіноподібного. Основна новизна полягає в тому, що еволюція хвиль аналізується наближеними методами з урахуванням перших трьох апроксимацій. Аналіз гармонічної хвилі розглянутий лише для порівняння з новими результатами для дзвіноподібної хвилі.

Abstract – The nonlinear plane longitudinal elastic wave of displacement is studied theoretically and numerically within the framework of the Murnaghan model for two forms of initial profile – harmonic and bell-shaped ones. The basic novelty consists in that the evolution of waves is analyzed by the approximate methods with taking into account the first three approximations. The analysis of harmonic wave is considered for only comparison with the new results for the bell-shaped wave.

Ключові слова – нелінійна пружна Р-хвиля; потенціал Мурнагана; наближений метод; гармонічні та дзвіноподібні початкові профілі хвиль; еволюція; спотворення.

Keywords – nonlinear elastic P-wave; Murnaghan potential; approximate method; harmonic and bell-shaped initial wave profiles; evolution; distortion.

І ВСТУП

Теорія нелінійних хвиль в пружних матеріалах являє собою великий розділ нелінійної теорії пружності, який через властиві теорії нелінійних хвиль математичні труднощі не є закінченим до цього часу і розвивається у

багатьох наукових центрах світової механіки. З іншого боку, сучасна промисловість виробляє незлічену кількість машин, конструкцій, приладів, устаткування, які або постійно працюють у динамічних режимах, або у роботі яких використовуються механізми поширення хвиль, або в яких іноді спостерігаються хвильові процеси. Тому знання про хвилі є затребуваним продуктом для сучасної промисловості. Зпосеред маси різноманітних хвиль виділяються певні типи, затребуваність яких є особливою. Саме до таких відносяться поодинокі хвилі, знання про які є потрібним фактично у всіх галузях практичної діяльності людини – від медицини до архітектури, від машинознавства до історії. Підтвердження цього можна знайти у пошуковій системі Google за ключовими словами solitary waves in materials.

II. ОСНОВНА МОДЕЛЬ НЕЛІНІЙНИХ ХВИЛЬ В ПРУЖНИХ МАТЕРІАЛАХ

Дане дослідження проведене в рамках нелінійної теорії пружності для конкретного потенціалу Мурнагана. Він є кубічним щодо тензора деформацій і записується через компоненти нелінійного тензора деформацій Гріна $\varepsilon_{ik} = (1/2) \times (u_{i,k} + u_{k,i} + u_{m,i}u_{m,k})$ у вигляді $W(\varepsilon_{ik}) = (1/2)\lambda(\varepsilon_{mm})^2 + \mu(\varepsilon_{ik})^2 + (1/3)A\varepsilon_{ik}\varepsilon_{im}\varepsilon_{kn} + B(\varepsilon_{ik})^2\varepsilon_{mm} + (1/3)C(\varepsilon_{mm})^3$, або через перші алгебраїчні інваріанти I_k цього тензора

$$W(I_1, I_2, I_3) = \frac{1}{2} \lambda I_1^2 + \mu I_2 + \frac{1}{3} A I_3 + B I_1 I_2 + \frac{1}{3} C I_3^3$$

$$(I_1 = \text{tr}(\varepsilon_{ik}), I_2 = \text{tr}[(\varepsilon_{ik})^2], I_3 = \text{tr}[(\varepsilon_{ik})^3]), \text{де } \lambda, \mu \text{ є пруж-$$

ними постійними Ляме, A, B, C - постійними Мурнагана.

$$W = (1/2) \lambda (u_{m,m})^2 + (1/4) \mu (u_{i,k} + u_{k,i})^2 + (\mu + (1/4)A) u_{i,k} u_{m,i} u_{m,k} +$$

$$W = (1/2) \lambda (u_{m,m})^2 + (1/4) \mu (u_{i,k} + u_{k,i})^2 + (\mu + (1/4)A) u_{i,k} u_{m,i} u_{m,k} +$$

$$+ (1/2) (\lambda + B) u_{m,m} (u_{i,k})^2 + (1/12) A u_{i,k} u_{k,m} u_{m,i} +$$

$$+ (1/2) B u_{i,k} u_{k,i} u_{m,m} + (1/3) C (u_{m,m})^3. \quad (1)$$

Розглядається рух, в якому зміщення залежать лише від однієї просторової координати і часу $u_k = u_k(x_1, t)$ (зміщення в напрямку осі Ox_1 в декартовій системі координат $Ox_1 x_2 x_3$). У цьому випадку вид потенціалу (1) спрощується

$$W = (1/2) [(\lambda + 2\mu)(u_{1,1})^2 + \mu [(u_{2,1})^2 + (u_{3,1})^2]] +$$

$$[\mu + (1/2)\lambda + (1/3)A + B + (1/3)C] (u_{1,1})^3 + (1/2)(\lambda + B) u_{1,1} [(u_{2,1})^2 + (u_{3,1})^2], \quad (2)$$

З (2) отримують нелінійні хвильові рівняння для трьох типів поляризованих плоских хвиль (P-, SH-, SV- хвилі). Найпростіші нелінійні хвильові рівняння є квадратично нелінійними. Зокрема, рух P-хвилі описується рівнянням

$$\rho u_{1,1} - (\lambda + 2\mu) u_{1,1} = N_1 u_{1,1} u_{1,1} + N_2 (u_{2,1} u_{2,1} + u_{3,1} u_{3,1}); \quad (3)$$

$$N_1 = [3(\lambda + 2\mu) + 2(A + 3B + C)], \quad N_2 = \lambda + 2\mu + (1/2)A + B.$$

Далі аналіз обмежується задачею, коли спочатку в матеріалі збуджується лише P-хвиля [2] і основним нелінійним явищем є явище самогенерації хвилі. Тоді нелінійне рівняння (3) набуває вигляду

$$\rho u_{1,1} - (\lambda + 2\mu) u_{1,1} = N_1 u_{1,1} u_{1,1} \rightarrow u_{1,1} - (v_L)^2 u_{1,1} = (N_1/\rho) u_{1,1} u_{1,1} \quad (4)$$

де $v_L = \sqrt{(\lambda + 2\mu)/\rho}$ фазова швидкість P-хвилі в лінійному наближенні.

II. НАБЛИЖЕНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ ЕВОЛЮЦІЇ ПОЧАТКОВОГО ПРОФІЛЮ ХВИЛІ

Задача про еволюцію гармонічної хвилі досліджувалася раніше методом послідовних наближень [2,11]. Згідно з методом, для знаходження будь-якого наближення використовується рекурентне співвідношення $u_{1,1}^{(n)} - (v_L)^2 u_{1,1}^{(n)} = (N_1/\rho) u_{1,1}^{(n-1)} u_{1,1}^{(n-1)}$ і розв'язок представляється у вигляді

$$u_1(x_1, t) = \sum_{n=1}^{\infty} u_1^{(n)}(x_1, t) = u_1^{(1)}(x_1, t) + u_1^{(2)}(x_1, t) + u_1^{(3)}(x_1, t) + \dots$$

Розв'язок для першого наближення є лінійним і для заданих початкової максимальної амплітуди $u_{1(0)}$, хвильового числа k_L і частоти ω має вигляд [10,11]

$$u_1^{(1)}(x, t) = u_{1(0)} \cos(k_L x - \omega t) \quad ((\omega/k_L) = v_L). \quad (5)$$

Відповідний розв'язок для другого наближення є таким [8,9]

$$u_1^{(2)}(x_1, t) = [N_1/8(\lambda + 2\mu)] (u_{1(0)})^2 k_L^2 x_1 \cos 2(k_L x_1 - \omega t). \quad (6)$$

Далі зручно представити розв'язок в рамках двох перших наближень у вигляді, $u_1^{(1+2)}(x, t) = u_{1o} \cos \sigma + u_{1o} M_L x_1 \cos 2\sigma$

$$M = \frac{N_1}{8(\lambda + 2\mu)} u_{1o} (k_L)^2 = \frac{1}{8\rho} N_1 u_{1o} \frac{k_L^2}{v_L^2} = \frac{1}{8\rho} N_1 u_{1o} \frac{\omega^2}{v_L^4}.$$

Третє наближення має вигляд [9,10]

$$u_1^{(3)} = u_{1(0)} (M_L)^3 (x_1)^3 \left\{ -\frac{8}{3} + \frac{13}{2k_L x_1} \sin 4\sigma + \left[-\frac{4}{3} + \frac{29}{8(k_L)^2 (x_1)^2} \right] \cos 4\sigma \right\} \quad (7)$$

Отже, третє наближення вводить в розв'язок четверту гармоніку. Відповідно, четверте наближення буде вводити восьму гармоніку (на кожному кроці гармоніки подвоюються).

Розв'язок у вигляді перших трьох наближень має наступний вигляд [9,10]

$$u_2^{(1+2+3)}(x_1, t) = u_1^{(0)}(x_1, t) + u_1^{(1)}(x_1, t) + u_1^{(2)}(x_1, t) =$$

$$= u_{1o} \cos \sigma + u_{1o} M_L x_1 \cos 2\sigma + u_{1o} (M_L)^3 (x_1)^3 \times \quad (8)$$

$$\times \left[-\frac{8}{3} + \frac{5}{2k_L x_1} \sin 4\sigma + \left(-\frac{4}{3} + \frac{11}{8(k_L x_1)^2} \right) \cos 4\sigma \right].$$

Як відомо [8,9], аналіз еволюції поодиноких хвиль методом послідовних наближень приводить до істотних математичних ускладнень і тому далі до аналізу дзвіноподібних хвиль буде застосований метод обмеження на градієнт зміщення. Для цього зручно представити рівняння (4) у вигляді

$$u_{1,1} - \left\{ (v_L)^2 + (N_1/\rho) u_{1,1} \right\} u_{1,1} = 0 \rightarrow u_{1,1} - \left\{ 1 + \alpha u_{1,1} \right\} (v_L)^2 u_{1,1} = 0, \quad (9)$$

Згідно з методом, початковий профіль хвилі описується досить гладкою функцією $u(x_1, t=0) = F(x_1)$ і хвиля поширюється у вигляді хвилі Даламбера $u(x_1, t) = F(x_1 - vt)$ де змінна швидкість хвилі визначається $v = \sqrt{1 + \alpha u_{1,1}} c_L$.

Далі корінь записується у вигляді ряду $\sqrt{1 + \alpha u_{1,1}} = (1 + \alpha u_{1,1})^{1/2} = 1 + (1/2)\alpha u_{1,1} - (1/8)(\alpha u_{1,1})^2 + \dots$ при обмеженні $|\alpha u_{1,1}| \ll 1$.

Малість величини $\alpha u_{1,1}$ дозволяє представити наближуно розв'язок (4) у вигляді перших трьох апроксимацій $u_1(x_1, t) \cong F \left\{ \alpha (x_1 - v_L t) - (1/2)t \alpha v_L u_{1,1} \left[1 - (1/4)\alpha v_L u_{1,1} \right] \right\}$

(10) Слід зазначити, що раніше наближений розв'язок записувався у вигляді перших двох апроксимацій. Тому наближення (10) вносить елемент новизни в подальший аналіз.

Позначимо фазу хвилі з постійною фазовою швидкістю через $\sigma = a(x_1 - c_L t)$ та введем додатковий малий параметр через $|\delta| = \left| -(1/2)t\alpha v_L u_{1,1} \left[1 - (1/4)\alpha v_L u_{1,1} \right] \right| \ll 1$.

Тепер розв'язок (10) можна представити у вигляді ряду Тейлора $u(x_1, t) \approx F(\sigma + \delta) \approx F(\sigma) + F'(\sigma)\delta + (1/2)F''(\sigma)\delta^2 + \dots$

Обмежимо далі аналіз першими трьома членами через малість δ . Оскільки малість $|\alpha u_{1,1}|$ вже припущена, то це фактично умова на $\alpha v_L t$. Тоді вираз для розв'язку прийме наступний вигляд

$$u_{1,1}(x_1, t) \approx F'_\sigma(\sigma + \delta) \cdot \sigma'_{x_1} = F'_\sigma(\sigma + \delta) \times (a - (1/2)t\alpha v_L u_{1,1} [1 - (1/2)t\alpha v_L]) \approx a F'_\sigma(\sigma).$$

$$\begin{aligned} \text{Цей вираз дозволяє записати розв'язок (10) у вигляді} \\ u_1(x_1, t) \approx F(\sigma) - F'_1(\sigma) a^2 \left\{ (1/2)t\alpha v_L F'_1(\sigma) \left[1 - (1/4)\alpha a F'_1(\sigma) \right] \right\} = \\ = F(\sigma) - (1/2)\alpha a^2 v_L t \left[F'_1(\sigma) \right]^2 \left[1 - (1/4)\alpha a v_L F'_1(\sigma) \right]. \end{aligned} \quad (11)$$

Наближене представлення розв'язку (11) має загальний характер і для різних конкретно вибраних функцій F буде описувати нелінійні хвильові ефекти, які полягають у виникненні другої і третьої гармонік.

III. ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ХВИЛІ З ГАРМОНІЧНИМ ПРОФІЛЕМ

За формулою (8) побудовані двовимірні графіки з координатами "зміщення u_1 - пройдена хвилею відстань x_1 ". Всього розглянуто 8 наборів (2 матеріали, 2 варіанти довжини хвилі, 2 варіанти максимальної початкової амплітуди). Кожен набір включає графіки з профілями які накладені один на інший в рамках порівняння наближення. Графіки відрізняються формою профілю хвилі для різних відстаней - від початкового положення хвилі до положення на відстані в багато десятків повторень довжини хвилі, де вплив нелінійності вже проявляється істотно і спотворення гармонічного профілю цілком спостережне.

На рис.1 наведені графіки які, відповідають таким значенням параметрів: композитний матеріал (матриця - алюміній, наповнювач - вольфрам) M52 [5], $L = 0,018$, $\omega = 1,5 \cdot 10^6$, $a_0 = 1 \cdot 10^{-6}$.

Рис.1а відповідає початковому етапу руху хвилі для всіх трьох наближень. Рис.1б відповідає тому етапу руху хвилі, коли нелінійність тільки починає проявлятися, рис.1в - більш тривалому руху хвилі і першому наближенню (верхня лінія для додатніх значень амплітуди), першому + другому (нижня лінія для додатніх значень амплітуди) а також першому + другому + третьому (лінія для додатніх значень амплітуди яка збігається з другою на даному інтервалі). Рис.1г відповідає в два рази більш тривалому руху хвилі (приблизно 30 повторень довжини хвилі) і першому (верхня лінія для додатніх значень амплітуди), першому + другому (середня лінія для додатніх значень амплітуди) і першому + другому + третьому (нижня лінія для додатніх значень амплітуди).

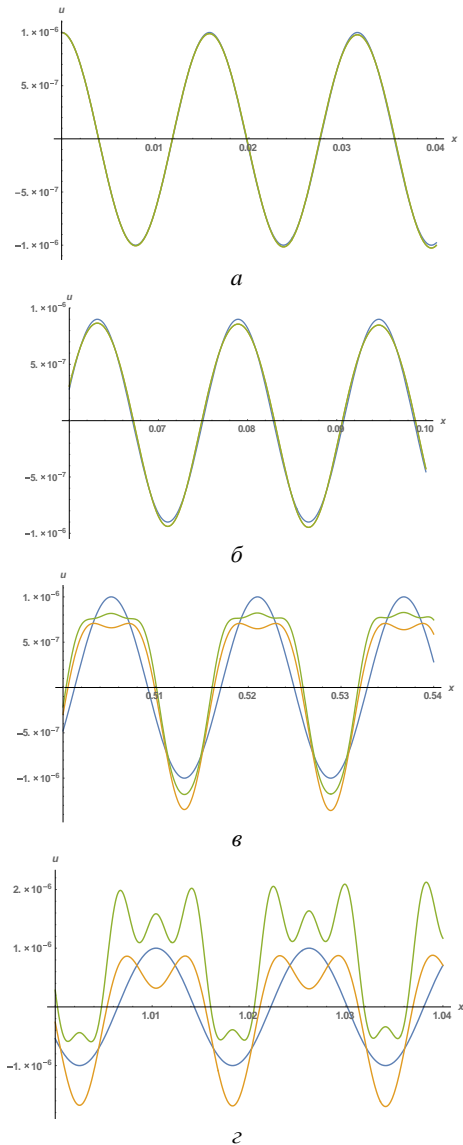


Рис. 1. Графіки еволюції гармонічної хвилі

З графіків випливає, що еволюція початкового профілю хвилі відбувається симетрично щодо вершин кри-вих. На рис. 1б показано що при русі хвилі на відстані в п'ять повторень довжини хвилі нелінійність матеріалу можна не враховувати. На рис. 1в,1г наглядно видно, як спотворюється початковий профіль хвилі в залежності від другого чи третього наближення. Характерним для всіх типів наближень, є те, що певне наближення відповідає кількості утворених горбів.

IV. ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ХВИЛІ З ПРОФІЛЕМ У ВИГЛЯДІ ФУНКЦІЇ ГАУССА

В цьому випадку початковий профіль хвилі $F(x_1) = e^{-((ax_1)^2/2)}$ має дзвіноподібну форму і формула (11) набуває більш конкретний вид

$$u(x_1, t) = A^o e^{-\sigma^2/2} - (1/2)\alpha v_L a^2 t (A^o)^2 \sigma^2 e^{-\sigma^2} - (1/8)\alpha^2 v_L a^3 t (A^o)^3 \sigma^3 e^{-3\sigma^2/2} \quad (12)$$

За формулою (12) побудовані двовимірні графіки з координатами "зміщення - пройдена хвилею відстань". Всього 8 наборів (2 матеріали, 2 варіанти довжини хвилі, 2 варіанти максимальної початкової амплітуди). На рис. 2а і рис. 2б накладено два профілі, які відповідають: перший – «першій гармоніці», другий – «першій і другій гармонікам». Тут показано, що прояв нелінійності вже має місце при відстані 50 повторень довжини хвилі. На рис. 2в і рис. 2г накладені два профілі, які відповідають, відповідно, «першій і другій гармонікам» та «першій, другій і третій гармонікам», які накладені один на одного в рамках порівняння.

На рис. 2 наведені графіки для варіанту, відповідного таким значенням параметрів: матеріал М52, $L = 0,0375$, $a_o = 5,0 \cdot 10^{-3}$.

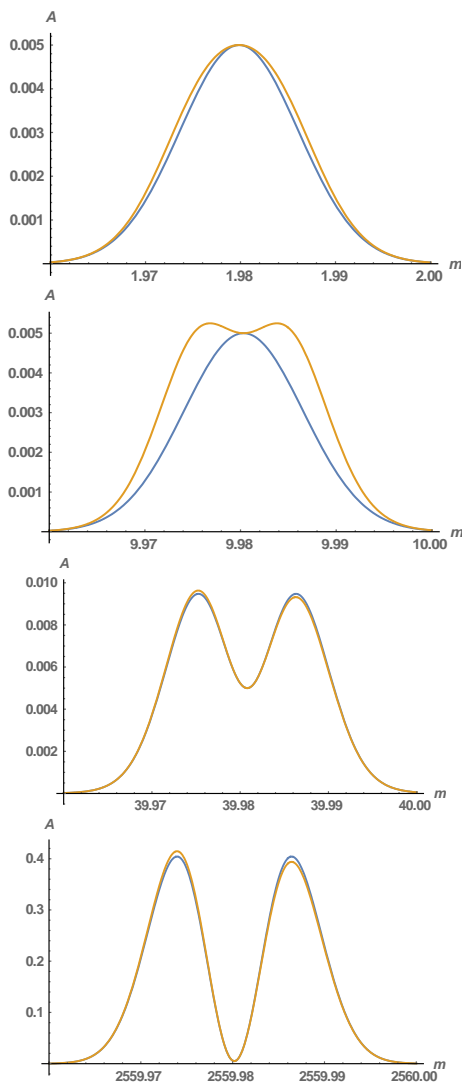


Рис. 2. Графіки еволюції дзвіноподібної хвилі

З представлених графіків випливає, що еволюція початкового симетричного профілю хвилі відбувається спочатку симетрично. При цьому максимальне значення амплітуди повільно збільшується з тенденцією перетворення одного горба в два (що можна бачити на рис.2а і рис.2б). На рис. 2в і рис.2г наведені графіки «другої і третьої гармонік», відмінність полягає в тому, що вплив «третьої гармоніки» щодо «другої» показує тенденцію несиметрії коли ліва частина горба опускається, а права піднімається. Центральна частина опускається до осі і не перетинає її.

Таким чином, врахування нелінійності в аналізі поширення одиночної хвилі з початковим профілем у вигляді функції Гаусса дозволяє описати таке хвильове явище як несиметрична дисторсія профілю.

ВИСНОВОК

Проведено числовий аналіз нелінійної пружної поздовжньої плоскої хвилі зміщення $u(x_1, t)$ для двох видів симетричного початкового профілю: гармонічного і дзвіноподібного. Відповідно, профілі описуються двома різними функціями: тригонометричною функцією (e^{ikx}) і функцією Гаусса $e^{-x^2/2}$.

Загальним для цих профілів є спотворення початкового профілю при русі хвилі внаслідок нелінійної взаємодії хвилі самої з собою. Однак спотворення відбувається для кожного виду по-своєму.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1]. Руцицький Я.Я., Журнал С.І. Хвилі в матеріалах з мікроструктурою. – Київ, Інститут механіки ім. С.П.Тимошенка, 1998. – 377 с.
- [2]. Руцицький Я.Я. Про наближений аналіз еволюції поздовжньої хвилі, що поширюється в пружному середовищі // Доповіді НАН України. – 2019. - N8. - С.46-58.
- [3]. Cattani C., Rushchitsky J. Wavelet and Wave Analysis as applied to Materials with Micro and Nanostructure. - Singapore-London: World Scientific, 2007. – 466 p.
- [4]. Gradstein I.S., Ryzhik I.M. Table of Integrals, Series, and Products. 7th revised edition. Eds. Jeffrey A., Zwillinger D. - New York: Academic Press Inc., 2007. – 1200 p.
- [5]. Guz I.A., Rushchitsky J.J. Theoretical description of a delamination mechanism in fibrous micro- and nanocomposites // Int. Appl. Mech. – 2004. - 40, N10. - P.1129-1136.
- [6]. Rushchitsky J.J., Cattani C., Sinchilo S.V. Physical constants for one type of nonlinearly elastic fibrous micro- and nanocomposites with hard and soft nonlinearities // Int. Appl. Mech. – 2005. - 41, N12. – P.1368-1377.
- [7]. Rushchitsky J.J. Certain Class of Nonlinear Hyperelastic Waves: Classical and Novel Models, Wave Equations, Wave Effects // Int. J. Appl. Math. and Mech. – 2013. – 9, N12. - P. 600-643.
- [8]. Rushchitsky J.J. Nonlinear Elastic Waves in Materials. –Heidelberg: Springer, 2014. - 455 p.
- [9]. Rushchitsky J.J. On Constraints for Displacement Gradients in Elastic Materials // Int. Appl. Mech. – 2016. - 52, N2. - P. 119 -132.
- [10]. Rushchitsky J.J., Yurchuk V.M. One Approximate Method for Analyzing Solitary Waves in Nonlinearly Elastic Materials // Int. Appl. Mech. – 2016. – 52, N3. – P. 282 – 290.

Візуалізаційне Моделювання Розподілених Систем Управління Підприємствами

Любомир Петришин
кафедра комп'ютерних наук
та інформаційних систем
Прикарпатський національний
університет ім. В. Стефаника
Івано-Франківськ, Україна,
кафедра управління
AGH Науково-Технологічний
Університет, Краків, Польща
l.b.petryshyn@gmail.com
ORCID 0000-0003-4168-3891

Михайло Петришин
кафедра комп'ютерних наук
та інформаційних систем
Прикарпатський національний
університет
імені Василя Стефаника
Івано-Франківськ, Україна
m.l.petryshyn@gmail.com
ORCID 0000-0001-6319-3768

Міхал Віадерек
кафедра прикладної інформатики
AGH Науково-Технологічний
Університет
імені Станіслава Сташіца
Краків, Польща
m.wiaderek@gmail.com

Visualization Modeling of Distributed Enterprise Management Systems

Lubomyr Petryshyn
dept. of Enterprise Management
AGH University of Science and
Technology, Krakow, Poland
dept. of Computer Science and
Information Technologies
Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
l.b.petryshyn@gmail.com
ORCID 0000-0003-4168-3891

Mykhailo Petryshyn
dept. of Computer Science and
Information Technologies
Vasyl Stefanyk Precarpathian
National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
m.l.petryshyn@gmail.com
ORCID 0000-0001-6319-3768

Michał Wiaderek
dept. of Applied Informatics
AGH University of Science
and Technology
Krakow, Poland
m.wiaderek@gmail.com

Анотація—Моделювання процесів управління в умовах міжсекторової кооперації на основі розподілених інформаційних систем дозволяє знизити затрати на розробку та експлуатацію таких складних систем. Запропонований метод візуалізації інформаційних моделей дозволяє здійснювати відображення процесів в графічному вигляді і спрощує взаємопорозуміння між клієнтом і виробником на етапі аналізу і проектування системи. Представлено основи візуалізаційного моделювання та спрощений приклад розробки багатосекторової системи управління корпорацією надання навчальних послуг.

Ключові слова—процесний аналіз, візуалізаційне моделювання, інформаційні процеси, секторна кооперація, розподілені системи, управління

Abstract—Modeling of management processes in conditions of cross-sectoral cooperation on the distributed information systems base allows to reduce the means of introduction and exploitation of such complex systems. The proposed method of information models visualization permit to graphically reflects of constituent processes and simplifies the understanding at the stage of analysis and design between the customer and the system developer. The basics of visualization modeling and simplified example of models development of multi-sectoral management system are presented.

Keywords—visualization modeling, information processes, sectoral cooperation, distributed systems, management

I. ВСТУП

Управління складними системами в умовах міжсекторової кооперації вимагає застосування інформаційних технологій, що забезпечують відображення стану і дозволяють керувати системою в режимі реального часу. У роботі представлено мету, аналіз функціональності та розроблені візуальні моделі корпорації "CURSEA", яка спеціалізується на професійному навчанні та сертифікації фахівців галузі IT. Основні припущення та функціональні можливості "CURSEA" базуються на існуючих рішеннях, у тому числі платформ pluralsight.com та udemy.com, які були основою для створення більш ефективного рішення організації системи управління.

Метою розробки є представлення візуальних методів моделювання процесів управління складними системами в умовах міжсекторової кооперації, а також розробка спрощеного прикладу моделей системи управління процесами навчання та сертифікації курсантів.

Новизна роботи полягає у розробці та представленні методів графічного моделювання, що забезпечують візуалізацію процесів управління та спрощують розуміння їх перебігу. Практичним аспектом є можливість відображення структури та перебігу процесів управління, уникнення непорозумінь при формулюванні завдання та забезпечення вимог замовника, а також зниження затрат на створення та експлуатацію системи управління.

Основи візуалізаційного моделювання опубліковано в роботі [1]. Проаналізуємо спрощений приклад моделювання розподіленої системи управління мережею надання навчальних послуг та сертифікації фахівців. На основі процесного аналізу та декомпозиції системи управління здійснено інформаційне моделювання системи управління.

Економічні аспекти розробки полягають у створенні системи управління компанією "CURSEA", цінова пропозиція якої буде повиння до цін ринкових гігантів (pluralisight, udemy, egghead), але забезпечить якість надання послуг на більш високому рівні. Використання ефекту масштабування та всестороннього обслуговування дозволить досягнути зменшення організаційних затрат та збільшення прибутків.

II. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ УПРАВЛІННЯ

Компанія "CURSEA" пропонує послуги навчання та сертифікації фахівців галузі новітніх інфотехнологій, зокрема:

- Frontend технології:
 - Javascript;
 - HTML;
 - CSS;
 - Web APIs;
- Резервні технології:
 - C #;
 - Ruby;
 - Python;
 - Java;
 - PHP;
- DevOps:
 - AWS;
 - Microsoft Azure;
 - Cloud Cloud Platform;
 - Docker;
 - Kubernetes;
- Власник / менеджер продукту:
 - Agile software development;
 - Scrum;
 - Kanban;
 - Managerial competencies.

Організаційна структура корпорації "CURSEA" має ієрархічний уклад, зображений на рис. 1.

IT-система управління, створена для потреб корпорації "CURSEA", повинна здійснювати синхронізацію та автоматизацію бізнес-процесів. Основними підрозділами системи є виконавчий та навчальний відділи. Ефективна взаємодія та швидкий зв'язок між ними забезпечать

оптимальне обслуговування клієнтів та довготермінову фінансову ліквідність.

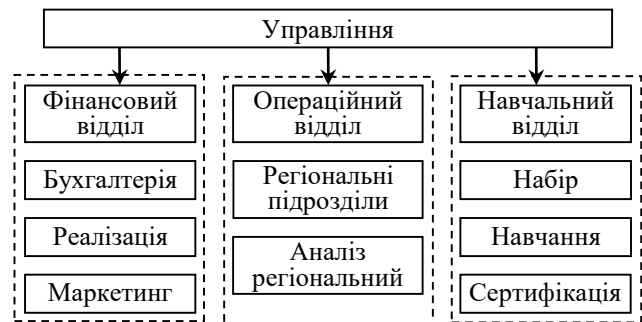


Рис. 1. Організаційна структура корпорації "CURSEA".

Функціональні вимоги замовника IT-системи управління компанією "CURSEA" такі:

- Реєстрація та вхід у систему:
 - Призначення конкретної ролі користувачеві в системі:
 - Курсант;
 - Викладач;
 - Адміністратор (регіональний директор, бухгалтер, маркетолог, аналітик);
 - Аутентифікація користувачів за допомогою пароля та логіна;
- Можливість завантаження, редагування та видалення документів, звітів та результатів аналізу, підготовлених відділами корпорації:
 - Курсант повинен мати змогу вирішувати завдання та розміщувати коментарі до лекцій;
 - Викладач в змозі публікувати презентації та навчальні матеріали;
 - Співробітник адміністрації (наприклад, регіональний аналітик) може розміщувати результати аналізу та звіти за певний період (наприклад, місяць, квартал, півріччя) для локальних філій корпорації;
- Можливість оцінки успішності навчання курсантів шляхом проведення онлайн контрольних тестів (продовження курсу навчання чи вилучення зі списку курсантів):
 - Система інтегрована із зовнішніми службами, що містять набір тестів для кожної запропонованої галузі освіти. Служба codility інтегрована в систему "CURSEA";
 - Можливість інформування курсантів викладачем про низькі результат тестування;
 - Можливість налаштування викладачем дати та тривалості тестів;
- Можливість оцінювання рівня викладачів (відсторонення або продовження роботи):
 - Курсант в стані оцінити курси, які відвідує, за допомогою аплікації;
- отримання сповіщень через SMS або електронну пошту:
 - Можливість налаштування розсилки SMS та повідомлень електронною поштою

адміністратором системи за допомогою CMS (Content Management System);

- Проведення маркетингової кампанії через систему управління контентом (CMS):
 - Відправлення бюлетенів та конфігурування новин відділом маркетингу;
 - Сертифікація у певній галузі розробки програмного забезпечення у вибраному форматі (PDF, .doc, JPG).
- Нефункціональні вимоги замовника:

- Система працює за захищеним протоколом https, забезпечує безпеку для зареєстрованих користувачів;
- Система працює відповідно до польського законодавства, правил GDPR та міжнародних стандартів [2-10];
- Забезпечення контролю функціональності системи тестовими пристроями та тестами інтеграції (із зовнішніми API та базами даних), гарантування безперервної роботи;
- Доступність системи на платформах: веб-додатку та мобільному додатку (підтримуються системи iOS, Android та Windows Phone).

A. Матрична модель

Матрична модель загального процесу управління системою включає одну вітку (рис. 2) та дозволяє здійснити візуалізацію виконання окремих системних операцій у відповідних підрозділах за шкалою часу [2-10].

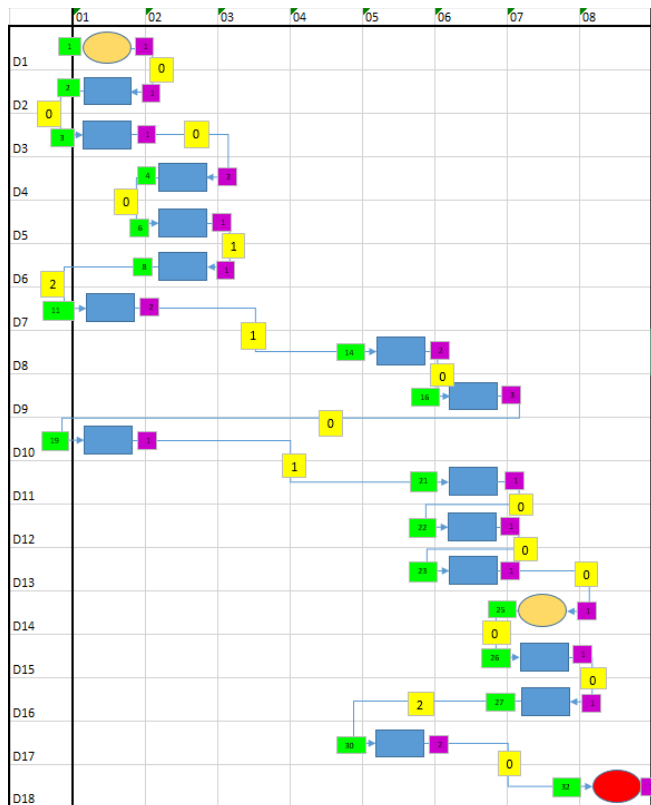


Рис. 4. Матрична модель системи управління.

B. Модель "мережевий граф"

Модель "мережевий граф" (рис. 3) є базовою, яка дозволяє перейти до UML-моделювання і представляє такі основні системні параметри, як часи початку і закінчення системних операцій, а також уклад системи і комунікаційних каналів [2-10].

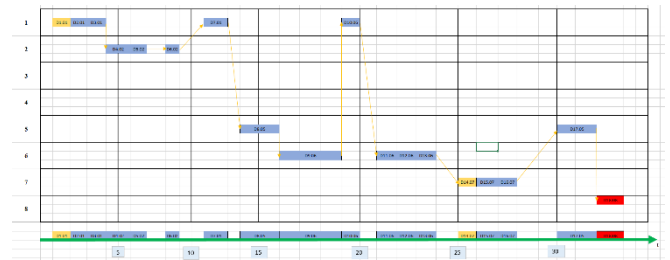


Рис. 5. Модель "мережевий граф" (типу Гантта).

C. Суміщена часова модель

Для оцінки повного обчислювального навантаження інформаційної системи управління застосовується суміщена часова модель (рис. 4) [2-10]. Однак, цей граф не відображає підрозділи, в яких виконуються окремі системні операції.

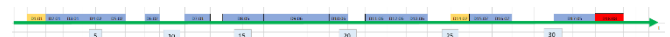


Рис. 6. Суміщена часова модель виконання системних операцій.

D. Блок-схема алгоритму виконання системних операцій

На основі діаграми суміщеної часової моделі побудовано блок-схему алгоритму програми виконання системних операцій (рис. 5), яка на основі об'єктно-орієнтованого програмування уможливує швидку імплементацію та впровадження прикладного програмного забезпечення системи управління [2-10].

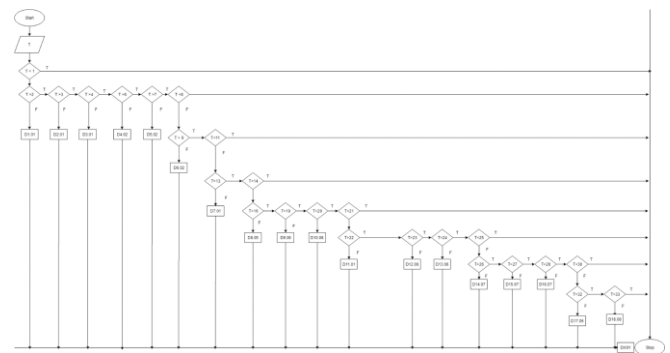


Рис. 7. Блок-схема алгоритму виконання системних операцій.

III. СИМУЛЯЦІЯ ПРОЦЕСІВ МОДЕЛЬОВАНОЇ СИСТЕМИ

Симуляцію процесу здійснено за допомогою онлайн-програми BPSimulator, розташованої за адресою <http://www.bpsimulator.com> [11]. Нижче наведено модель, використану для симуляції (рис. 6), та згенерований симулятором рапорт (рис. 7). Симуляція дозволила оцінити затрати системи і визначити середній час виконання процесу.

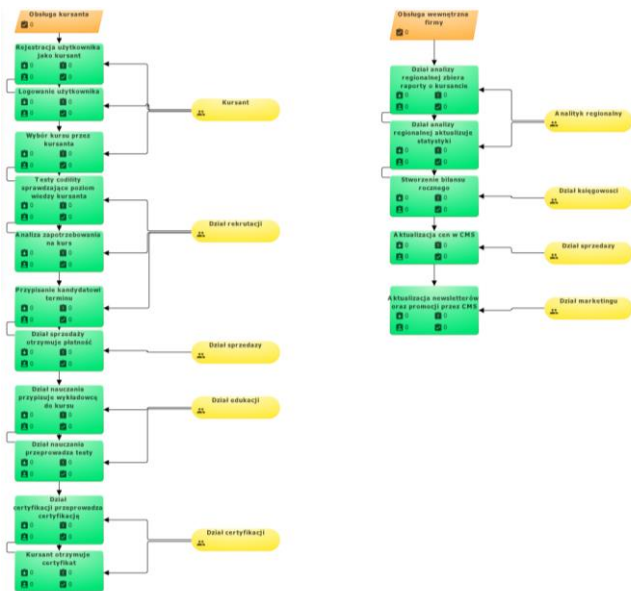


Рис. 8. . Модель симуляції функціонування системи управління.



Рис. 9. Рапорт симуляції навантаження на інформаційну систему управління.

IV. ВИСНОВКИ

На основі розроблених методів візуалізації перебігу процесів при функціонуванні складних систем управління в умовах міжсекторової кооперації визначено основи та методи моделювання, що дозволили відобразити перебіг процесів і здійснити управління інформаційною системою в реальному часі. Візуалізація процесів управління дозволила знівелювати психологічний бар'єр і уникнути взаємного непорозуміння між клієнтами та розробниками інформаційних систем, а також знизити затрати на розробку, впровадження і обслуговування розосереджених систем управління.

Досягнуто мету проекту – здійснити моделювання системи управління складними системами в умовах міжсекторової кооперації, а також розробити спрощений приклад моделей системи управління процесами навчання та сертифікації курсантів.

Моделювання системи виконано на основі процесів реальних систем управління. Впровадження системи дозволило оптимізувати затрати, покращити якість послуг та автоматизувати процеси управління, а також поліпшити обмін інформацією між окремими підрозділами та перейти до електронної системи управління. Впровадження змін у систему призвело до підвищення конкурентоспроможності корпорації, а функціональність системи була адаптована до ринкових стандартів. Впровадження розроблених моделей покликана створити реальну конкуренцію корпорації шляхом вирішення існуючих недоліків аналогічних систем.

Завдяки прямому контакту з клієнтом (навчання здійснюється у штаб-квартирі корпорації, а не через Інтернет), підприємство стає конкурентоспроможним у таких рішеннях, як „pluralsight” або „egghead” у порівнянні з іншими фірмами, які пропонують свої послуги лише дистанційно. Особистий контакт з курсантом під час заняття - це перевага, яка ставить виклик найбільшим постачальникам аналогічних послуг на ринку. Іншою економічною перевагою послуг, які пропонує «Cursea», є ефект масштабування. Чим більша кількість клієнтів бере участь в курсі, тим більша кількість викладачів забезпечують навчання, заощаджуючи кошти на навчальні матеріали та оплату роботи викладачів. Завдяки попередньому запису на курси регіональний аналітик в стані оцінити реальний попит на даний курс та найняти фактично необхідну кількість викладачів, здійснивши оплату у відповідних розмірах.

REFERENCES

- [1] Л.Петришин, Я.Николайчук, Аналитическое моделирование информационных систем автоматизированного управления – Analytical modeling of infosystems of automated management. / Lyubomyr Petryshyn // Zarządzanie organizacjami w gospodarce rynkowej: X międzynarodowa naukowa konferencja "Zarządzanie przedsiębiorstwem. Teoria i praktyka": Kraków, 22-23 listopada 2007 r. / pod red. Wiesława Waszkielewicza; — Kraków: Wydawnictwa AGH, 2007. — ISBN 978-83-7464-153-1 — S. 268–275. — Bibliogr. s. 338, Abstr.
- [2] IEEE 1233-1996 Guide for Developing of System Requirements Specifications.
- [3] IEEE 1362-1998 Guide for Information Technology – System Definition – Concept of Operations (ConOps).
- [4] 29148-2011 - ISO/IEC/IEEE International Standard - Systems and software engineering - Life cycle processes -Requirements engineering.
- [5] ISO/IEC TR 19759:2015 Software Engineering — Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK).
- [6] ISO 15288 System Life Cycle Process.
- [7] ISO/IEC 15504 Software Process Improvement and Capability Determination.
- [8] IEEE 1498-1995 - EIA/IEEE Interim Standard for Information Technology - Software Life Cycle Processes - Software Development: Acquirer-Supplier Agreement (Issued for Trial Use).
- [9] IEEE 1042-1987 (Reaff 1993), IEEE Guide to Software Configuration Management (ANSI).
- [10] IEEE 1002-1987 (Reaff 1992), IEEE Standard Taxonomy for Software Engineering Standards (ANSI).
- [11] BP Simulator. [Online]. Доступ: <https://www.bpsimulator.com/run/> 09.04.2020.

Визначення Параметрів Висячої Краплі у Момент Відриву

Олександр Малько

Кафедра прикладної математики
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу
Івано-Франківськ, Україна
malko.pochta@gmail.com

Ярослав Сусак

Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем
Прикарпатський національний університет імені Василя
Стефаніка
Івано-Франківськ, Україна
susak.slava@gmail.com

Determining the Parameters of the Hanging Drop at the Time of Separation

Oleksandr Malko

dept. of of Mathematical Methods in Engineering
Iv.-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
Ivano-Frankivsk, Ukraine
malko.pochta@gmail.com

Yaroslav Susak

Department of computer sciences and information systems
Vasyl Stefanyk Precarpathian National University
Ivano-Frankivsk, Ukraine
susak.slava@gmail.com

Abstract—Алгоритм і програму моделювання квазіпластики капілярних поверхонь висячої краплі. The program of the model of the capillary surfaces for the method of pendant drop has been developed.

Keywords—висяча крапля, радіус капіляра, капілярна стала, диференціальне рівняння, дискретизація, pendant drop, radius of the capillary, capillary constant, differential equation, discretization.

Ключові слова — рідинний меніск, капілярна поверхня, , пульсація, поверхневий натяг, інформаційний канал, алгоритм, система

Keywords— liquid meniscus, capillary surface, , pulsation, surface tension, information channel, algorithm, system

I. ВСТУП

Поверхнево-активні властивості мають більшість органічних сполук (поверхнево-активні речовини - ПАР): спирти, кислоти, аміни, гідроперекиси, кетони, ефіри, солі карбонових кислот та ін [1]. Таким чином, інформація про вміст у воді ПАР може також служити інтегральної оцінкою ступеня її чистоти на предмет органічних включень. Одним з поширених на теперішній час є методи, засновані на аналізі форми краплі або бульбашки, а також сталогометричний метод, який базується на зважуванні висячих крапель у момент відриву.

Об'єктом дослідження в даній роботі є метод висячої краплі.

Актуальність роботи пояснюється необхідністю виконувати складні розрахунки стану висячої краплі, що вимагає математичного моделювання.

Буде описано процес створення програми в середовищі MATLAB для моделювання квазіпластики капілярних поверхонь висячої краплі.

Метою роботи є дослідити теоретичні основи для моделювання (диференціальне рівняння) та створити програму на мові MATLAB для моделювання квазіпластики капілярних поверхонь висячої краплі.

II. ОГЛЯД ТЕОРЕТИЧНОЇ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ

Розглянемо висячу краплю (рис. 1) з параметрами як зображенні (тут φ – це кут між віссю z і точкою лінії краплі, x і z – горизонтальна і вертикальна координати точок лінії краплі).

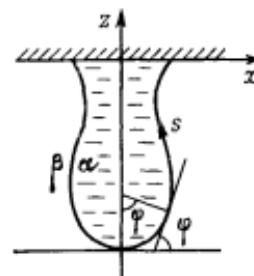


Рис. 1. Параметри висячої краплі

У даній роботі розглядаються меніски, що утворюються на торці ножового капіляра. Їх форма визначається: поверхневим натягом рідини - σ ; різницею густин контактуючих фаз - $\Delta\rho$; прискоренням вільного падіння - g ; радіусом торця капіляра - r . Для узагальнення результатів дослідження в процесі математичного моделювання шуканих параметрів меніска доцільно їх подати у вигляді безрозмірної форми, шляхом приведення до капілярної сталої у безрозмірній формі [4]:

$$a_r^2 = \frac{\sigma}{\Delta\rho g r^2}$$

Процес утворення меніска висячої краплі на торці вертикально зануреного у рідину ножового капіляра можна представити послідовністю капілярних поверхонь, що описуються рівняннями капілярності Юнга-Лапласа, яке представлено такою системою диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi}{dL_a} = K_a - \frac{\sin\varphi}{x_a} - z_a, \\ \frac{dx_a}{dL_a} = \cos\varphi, \quad \frac{dz_a}{dL_a} = \sin\varphi, \\ \frac{dV_a}{dL_a} = \pi x_a^2 \sin\varphi, \quad \frac{dS_a}{dL_a} = 2\pi x_a, \end{cases} \quad (2)$$

де φ – кут між нормаллю до капілярної поверхні і віссю симетрії, L_a – довжина дуги осьового перерізу, K_a – Гаусова кривизна у омбілічній точці, x_a – горизонтальна координата, z_a – вертикальна координата, S_a – площа поверхні меніска, V_a – об'єм меніска. Початкові умови в омбілічній точці ($L_a = 0$) наступні:

$$\varphi = 0, \quad x_a = 0, \quad z_a = 0, \quad S_a = 0, \quad V_a = 0, \quad \lim_{L_a \rightarrow 0} \frac{d\varphi}{dL_a} = \frac{K_a}{2}.$$

Для опису процесу зростання меніска у якості незалежної змінної було взято його характеристики, що монотонно змінюються із зростанням об'єму меніска і можуть приймати наперед задані дискретні значення. У якості таких характеристик доцільно взяти довжину дуги сичення меніска меніска L_a . Для визначення особливостей зміни характеристик меніска також визначався безрозмірний тиск у меніску:

$$P_a = \frac{P}{\Delta\rho g a} = K_a - z/a = K_a - z_a. \quad (4)$$

III. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТА

Нижче описані головні функції, які використані для моделювання.

Функція диференціального рівняння:

```
function dYdl = Differential_Equation(l, Y, ka)
if l == 0
dYdl = [ka/2;
cos(Y(1));
sin(Y(1));
2 * pi * Y(2);
```

```
pi * Y(2)^2 * sin(Y(1));
else
dYdl = [ka - sin(Y(1))/Y(2) - Y(3);
cos(Y(1));
sin(Y(1));
2 * pi * Y(2);
pi * Y(2)^2 * sin(Y(1));
end
end
```

Функція розв'язування диференціального рівняння з допомогою розв'язника ode113:

```
function [L,Y] = Solve_Equation(ka, ra, L_end)
options = odeset('RelTol', 1e-013, 'AbsTol', ra*1e-13);
Lspan = [0, L_end];
Y0 = [0; 0; 0; 0; 0];
[L,Y] = ode113(@Differential_Equation, Lspan, Y0, options, ka);
end
```

Функція параметрів краплі:

```
function [L,Y,X,Z,Par] = Get_Parameters(Ka, ra, L_end)
[L,Y] = Solve_Equation(Ka, ra, L_end);
N = length(L);
R = ones(N, 1);
Z = (Y(:,3) - R * Y(N,3))/ra;
X = Y(:,2)/ra;
Par = [Y(end,1) * 180/pi,
Y(end,3)/ra,
Ka * ra,
2 * L(end)/ra,
Y(end,4)/ra^2,
Y(end,5)/ra^3];
end
```

Функція знаходження кривизни для заданого га:

```
function Ka = Find_Ka(ka, ra, L_end)
function dxa = Integration(x)
[~,Y] = Solve_Equation(x, ra, L_end);
dxa = Y(end,2) - ra;
end
Ka = fzero(@Integration, ka);
end
```

Функція поступового отримання кривизни для заданого га (з циклічним використанням Find_Ka):

```
function [Kr, Table] = Generate_Kr(loopArray, Table, dL)
if max(loopArray) < 1
loopArray = flip(loopArray);
end
for a2r = loopArray
ra = sqrt(1/a2r);
[~,idx] = min(abs(Table(1,:)-a2r));
if Table(1,idx) == a2r
Ka = Table(2,idx);
Kr = Table(3,idx);
continue
end
Ka = Find_Ka(Table(2,idx), ra, dL + ra);
Kr = Ka * ra;
Table(:,end+1) = [a2r; Ka; Kr];
end
end
```

Функція побудови останньої лінії:

```
function Parameters = Draw_Last_Line(Ka, ra, L_right, L_wrong,
Parameters, type)
Ka_Condition = Ka;
function forceMinusVolume = Condition_Function_Volume(L)
Ka_Condition = Find_Ka(Ka_Condition, ra, L);
```

```

[~,Y] = Solve_Equation(Ka_Condition, ra, L);
forceMinusVolume = 2 * pi * Y(end,2) * cos(Y(end,1)) - Y(end,5);
end
function angle = Condition_Function_Angle(L)
Ka_Condition = Find_Ka(Ka_Condition, ra, L);
[~,Y] = Solve_Equation(Ka_Condition, ra, L);
angle = Y(end,1);
end
if strcmp("volume", type)
func = @Condition_Function_Volume;
else
func = @Condition_Function_Angle;
end

L_final = fzero(func, [L_right,L_wrong]);
[~,~,X,Z,Par] = Get_Parameters(Ka_Condition, ra, L_final);
Parameters(end+1,:) = Par;
Draw_Line(X,Z,'r');
end

```

Головна функція для моделювання висячої краплі:

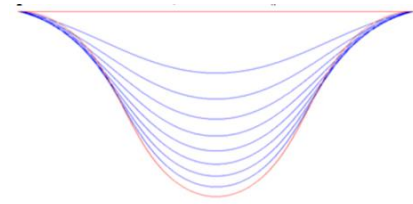
```

function Parameters = Pendant_Drop(a2r, dL)
Table(1,1) = 1;
Table(2,1) = Find_Ka(0.25, 1, dL + 1);
Table(3,1) = Table(2,1);
if a2r > 1
loopArray = My_Vector(1, 0.1, a2r);
else
loopArray = My_Vector(a2r, 0.1, 1);
end
if a2r == 1
Kr = Table(2,1);
else
[Kr,~] = Generate_Kr(loopArray, Table, dL);
end
ra = sqrt(1/a2r);
Ka0 = Kr * sqrt(a2r);
L_end = ra;
i = 1;
Draw_Line([-1,1],0*[-1,1],'r');
hold on
while true
L_end = L_end + dL;
if i<3
Ka(i) = Ka0 * i;
else
Ka(i) = interp1(1:i-1, Ka, i, 'spline', 'extrap');
end
Ka(i) = Find_Ka(Ka(i), ra, L_end);
[L,Y,X,Z,Par] = Get_Parameters(Ka(i), ra, L_end);
if 2 * pi * Y(end,2) * cos(Y(end,1)) >= Y(end,5)
if Y(end,1) < 0
L_wrong = L(end);
type = "angle";
break
end
Draw_Line(X, Z, 'b');
Parameters(i,:) = Par;
L_right = L(end);
else
L_wrong = L(end);
type = "volume";
break
end
i = i+1;
end
Parameters = Draw_Last_Line(Ka(end-1), ra, L_right, L_wrong,
Parameters, type);
save Parameters.mat Parameters
end

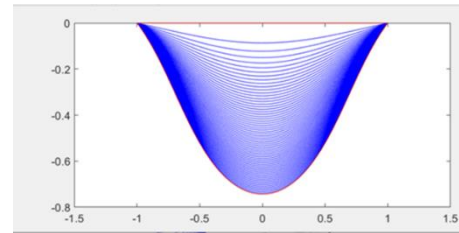
```

У результаті моделювання квазістатички зростання висячої краплі для різних значень поверхневого натягу (у безрозмірній формі параметра a_r^2).

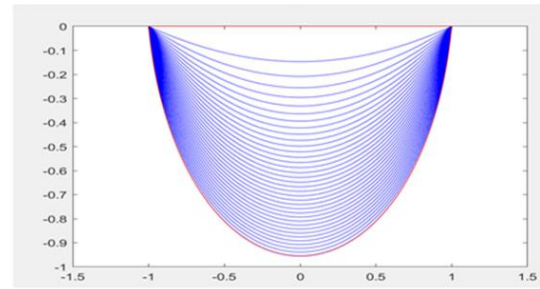
Крапля з $a_r^2 = 0.1$, $dL = 0.01$:



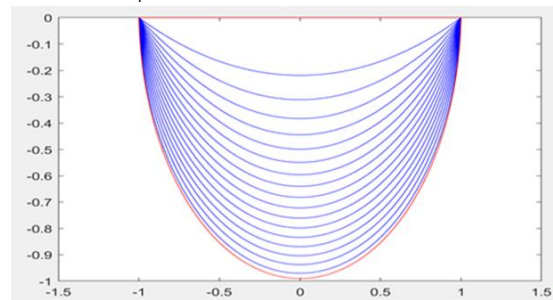
Крапля з $a_r^2 = 0.2$, $dL = 0.01$:



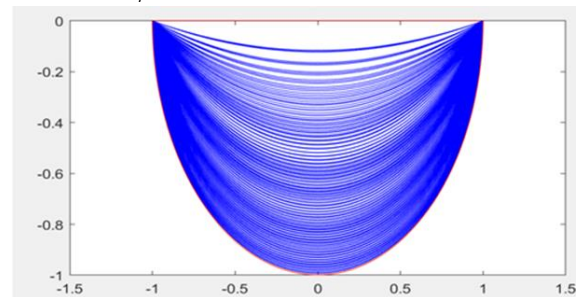
Крапля з $a_r^2 = 1.0$, $dL = 0.01$:



Крапля з $a_r^2 = 10$, $dL = 0.01$:



Крапля з $a_r^2 = 10$, $dL = 0.01$:



Розраховані значення параметрів меніска приведених до радіуса капіляра у момент відриву для різних значень поверхневого натягу наведені у таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1.

a_r^2	φ	z_r	K_r	L_r	S_r	V_r
0.2	36.133	0.7437	3.2825	2.5699	4.3166	1.0149
0.3	49.421	0.8012	2.8888	2.6710	4.6501	1.2262
0.4	57.161	0.8371	2.6886	2.7422	4.8858	1.3629
0.5	62.308	0.8614	2.5644	2.7941	5.0599	1.4599
0.6	66.007	0.8791	2.4792	2.8336	5.1941	1.5330
0.7	68.804	0.8927	2.4168	2.8648	5.3008	1.5902
0.8	71.001	0.9033	2.3691	2.8901	5.3879	1.6364
0.9	72.774	0.9120	2.3314	2.9110	5.4605	1.6746
1.0	74.238	0.9192	2.3008	2.9287	5.5219	1.7068
1.5	78.908	0.9425	2.2062	2.9872	5.7276	1.8132
2.0	81.427	0.9553	2.1571	3.0203	5.8451	1.8734
2.5	83.008	0.9634	2.1270	3.0417	5.9213	1.9122
3.0	84.095	0.9690	2.1066	3.0566	5.9749	1.9393
3.5	84.888	0.9731	2.0919	3.0676	6.0146	1.9594
4.0	85.493	0.9762	2.0807	3.0761	6.0452	1.9749
4.5	85.970	0.9787	2.0720	3.0828	6.0695	1.9871
5.0	86.355	0.9807	2.0650	3.0883	6.0893	1.9971
6.0	86.940	0.9838	2.0544	3.0967	6.1197	2.0124
7.0	87.363	0.9860	2.0467	3.1028	6.1418	2.0235
8.0	87.683	0.9877	2.0410	3.1074	6.1586	2.0320
9.0	87.934	0.9890	2.0365	3.1111	6.1719	2.0386
10.0	88.135	0.9901	2.0329	3.1140	6.1826	2.0440
15.0	88.747	0.9933	2.0220	3.1230	6.2152	2.0604
20.0	89.057	0.9950	2.0166	3.1276	6.2319	2.0687
25.0	89.244	0.9960	2.0133	3.1303	6.2420	2.0738
30.0	89.368	0.9966	2.0111	3.1322	6.2487	2.0772
35.0	89.458	0.9971	2.0095	3.1335	6.2536	2.0796
40.0	89.526	0.9975	2.0083	3.1345	6.2573	2.0814
45.0	89.578	0.9977	2.0074	3.1353	6.2601	2.0829
50.0	89.620	0.9980	2.0066	3.1359	6.2624	2.0840

60.0	89.683	0.9983	2.0055	3.1369	6.2659	2.0857
a_r^2	φ	z_r	K_r	L_r	S_r	V_r
70.0	89.728	0.9985	2.0048	3.1375	6.2683	2.0870
80.0	89.762	0.9987	2.0042	3.1380	6.2702	2.0879
90.0	89.788	0.9989	2.0037	3.1384	6.2716	2.0886
100.0	89.810	0.9990	2.0033	3.1387	6.2728	2.0892

ВИСНОВКИ

В даній роботі було проведено огляд теоретичних основ моделювання квазіпластики капілярних поверхонь висячої краплі і розроблено програму для моделювання. Програма дозволяє малювати графіки висячої краплі і виводить параметри краплі, приведені до радіуса капіляра r .

Дані результати можуть бути використані в дослідженнях методу висячої краплі в міжфазній тензіометрії.

Актуальність роботи пояснюється необхідністю виконувати складні розрахунки стану висячої краплі, що вимагає математичного моделювання.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Роулінсон Дж., Уидом Б. Молекулярная теория капиллярности.: Пер. с англ.–М.: Мир, 1986. – 376 с.
- [2] Финн, Р. Равновесные капиллярные поверхности. Математическая теория :пер. с англ. /Р. Финн ; Москва : Мир, 1989. 312 с.
- [3] Физическая химия границ раздела контактирующих фаз. – К.: Наукова думка, 1976. – 220 с.
- [4] Русанов А.И., Прохоров В.А. Межфазная тензиометрия.: СПб.: Химия, 1994. – 400 с.
- [5] Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на фортране.– М.: «Мир», 1977, 583 с.
- [6] Бабский В.Г., Копачевский Н.Д., Мышкис А.Д., Слобожанин Л.А., Тьюпцов А.Д. Гидромеханика невесомости. – М.:Наука, 1976.

СЕКЦІЯ 8.

**Прикладні методи дослідження
дискретно-неперервних
математичних моделей**

SECTION 8.

**Applied methods for continuous and discrete
mathematical models research**

Математичні Методи для Використання в Інтернет Речей

Ганна Мамонова

комп'ютерної математики та інформаційної безпеки
ДВНЗ "Київський національний економічний
університет імені Вадима Гетьмана"
Київ, Україна
mamonova@kneu.edu.ua

Надія Майданюк

Міжнародний науково-навчальний центр
інформаційних технологій та систем НАН та МОН
України
Київ, Україна
n.maydanyuk@ukr.net

Mathematical Methods for Using the Internet of Things

Ganna Mamonova

Department of Computer Mathematics and Information
Security
Kyiv National Economic University named after Vadym
Hetman
Kyiv, Ukraine
mamonova@kneu.edu.ua

Nadiia Maidaniuk

International Research and Training Centre of Information
Technologies and Systems of the NAS and MES of
Ukraine
Kyiv, Ukraine
n.maydanyuk@ukr.net

Анотація — Представлено аналіз публікацій останніх років щодо використання математичних методів та моделей для аналізу Інтернету речей. Проведений аналіз показав, що під час моделювання Інтернету речей використовують такі розділи математики, як теорія ігор, теорія ймовірностей, теорія випадкових процесів, булева та матрична алгебра, теорія графів, теорія чисел, теорія функції комплексної змінної, теорія міри, теорія оптимізації, імітаційне моделювання, кластерний аналіз, чисельний аналіз, математичний аналіз.

Abstract— The analysis of recent years' publications on the use of mathematical methods and models for IoT analysis is presented. The analysis showed that the authors use such sections of mathematics as mathematics such as game theory, probability theory, theory of random processes, Boolean and matrix algebra, graph theory, number theory, theory of function of complex variable, theory of measure, theory of optimization, theory of optimization analysis, numerical analysis, mathematical analysis.

Ключові слова — Інтернет речей, методи, моделі, моделювання, технології, структура, система.

Key words — Internet of Things, methods, models, modeling (simulation), technology, structure, system.

I. ВСТУП

Останнім часом термін «Інтернет речей» (Internet of Things, IoT) дуже широко використовують не лише фахівці з інформаційних технологій, а також у повсякденному житті.

Нині цим терміном IoT позначають мережу, що складається із взаємозв'язаних фізичних об'єктів або пристроїв, які мають вбудовані сенсори, а також пов'язують з програмним забезпеченням, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним

світом та комп'ютерними системами, що реалізується з використанням стандартних протоколів зв'язку. Крім сенсорів, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і з'єднані між собою через дротові та бездротові мережі. Ці взаємоз'єднані об'єкти мають можливість зчитування та приведення в дію, функцію програмування та ідентифікації, а також унеможливають участь людини, використовуючи інтелектуальні інтерфейси.

Без використання математичних методів і моделей програмування проаналізувати особливості моделювання та реалізації технологій IoT, а також основні технічні характеристики пристроїв, які застосовують, неможливо.

У наукових доробках вітчизняних та зарубіжних науковців, теоретиків та практиків, що досліджують IoT, використовують певний математичний апарат. У публікаціях фахівці лише в останньому десятилітті почали активно аналізувати роботу IoT та використовувати для цього широкий спектр математичних методів та моделей. Заслугує на увагу систематизація вказаних методів та моделей для аналізу математичного апарату, що використовують для моделювання роботи технологій IoT.

II. ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ В РОБОТАХ

Розглянувши роботи [2, 8-11, 13, 15, 17, 19] можна зауважити, що використання математичних методів здебільшого анонсується, але конкретні математичні формули та розрахунки у тексті статей не наведено.

В табл. 1 розміщено систематизовану інформацію щодо математичних теорій, методів та моделей, використаних в проаналізованих роботах, вказано мету та основні завдання, які ставили перед собою автори

згаданих робіт, та зазначено перспективи подальших досліджень.

ТАБЛИЦЯ І. ІНФОРМАЦІЯ ПРО МАТЕМАТИЧНІ ТОРІЇ, МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ

№ джерела	Математичний апарат	Мета моделювання (основне завдання)	Перспективи подальших досліджень
[1]	Булева алгебра, матрична алгебра, експертне оцінювання, теорій ймовірності	Розробка структурної та функціональної декомпозиції системи фізичної безпеки; пошук прикладних рішень для реалізації структурних функцій підсистем у системі фізичної безпеки; аналіз теоретико-множинної моделі компонентів, середовища і системи фізичної безпеки.	Модель описує статичну ситуацію. Для дослідження динамічної моделі запропоновано розглянути ситуацію атаки.
[3]	Теорія ймовірностей, теорія графів	Моделювання споживання енергії в системах IoT та в пристроях, що є їхніми складовими, для енергоефективності (модель проілюстровано на прикладі системи управління будівлями)	Дистанційне керування в будівлі та його вплив на загальне споживання енергії.
[4]	Теорія чисел, теорія функцій комплексної змінної, теорія ймовірностей та математична статистика, матрична алгебра	Побудова алгоритмів оцінювання каналів з підтримкою NDMRS та перевірка їхньої ефективності щодо швидкості бітових помилок, пов'язаної зі співвідношенням сигнал-шум..	Аналіз зміщення несучої частоти (CFO) і рознесення приймача для покращення продуктивності системи в системах NB-IoT.
[5]	Теорія міри, теорія оптимізації	Розробка моделі споживання енергії широкомовної мережі. Для врахування споживання енергії радіостанції розглядається чотири основні компоненти енергоспоживання: оптичний приймач, модулятор, підсилювач високої потужності і охолодження.	Емуляція динамічної мережі мовлення з циклом зворотного зв'язку IoT в реальний сценарій
[6]	Теорія графів, теорія множин, кластерний аналіз	Побудова двох алгоритмів кластеризації на основі евристичного методу та теорії графів. Запропоновані підходи кластеризації	Запропонований алгоритм можна розширити підключенням до хмари IoT. Збільшення кількості параметрів моделі та визначення

№ джерела	Математичний апарат	Мета моделювання (основне завдання)	Перспективи подальших досліджень
		оцінюють на платформі IoT за допомогою стандартних параметрів і порівнюють з різними підходами.	характеристик евристичних чи графних ребер для кластеризації залежно від застосунків.
[7]	Імітаційне моделювання, теорія ймовірностей	Побудова правдоподібної імітаційної моделі для прогнозування скачків трафіку.	Поглиблений аналіз отриманих даних, необхідний для побудови імітаційної моделі мережі пристроїв IoT з наступними ускладненнями і збільшенням кількості вузлів.
[12]	Теорія графів	В рамках оперативно-операційних служб розроблена семантична модель онтології. Оцінка системи щодо питань продуктивності.	Подолання монолітних підходів, мікросервісів, що можуть самостійно створювати нові функції обслуговування
[14]	Теорія оптимізації	Мінімізація негативних наслідків кібератак.	Подолання вкрай небажаних можливостей самоорганізуватися в мережі для забезпечення віртуалізованого, багатостороннього IoT-трафіку на основі 5G
[16]	Теорія ймовірностей, математична статистика, теорія випадкових процесів, імітаційне моделювання, чисельний аналіз	Оцінка часових характеристик інформаційної взаємодії в мережі IoT. Пошук залежності часових характеристик від параметрів мережі IoT.	Розрахунок виразів, алгоритмів і моделей, необхідних на ранніх етапах проектування мережі Інтернету речей.
[18]	Теорія випадкових процесів, теорія оптимізації	Розробка методології проектування, яку використовують для функцій в автономному IoT.	Створення енергоефективної, надійної та інтегрованої системи IoT.
[20]	Теорія ймовірностей, теорія випадкових процесів, теорія оптимізації	Вирішення проблем розподілу та декількох важливих функціональних особливостей та обмежень для IoT з обмеженими ресурсами.	Результати показують, що запропонований алгоритм глобальної оптимізації працює нарівні з комерційними рішеннями, але не такий швидкий, як евристичний підхід.
[21]	Теорія ймовірностей, теорія графів, теорія оптимізації	Розробка алгоритму зміни повідомлення для надійності збереження інформації.	Встановлення криптографічно захищених зв'язків між пристроями IoT вимагає попереднього консенсусу з секретним ключем шифрування

№ джерела	Математичний апарат	Мета моделювання (основне завдання)	Перспективи подальших досліджень
[22]	Математичний аналіз, теорія оптимізації	Розробка алгоритмів для аналітики Big Data.	Розробка практичних та ефективних алгоритмів для конкретних додатків IoT, для забезпечення розумного розподілу ресурсів, автоматичного функціонування мережі та інтелектуального надання послуг
[23]	Теорія ігор, теорія графів	Аналіз математичних методів і моделей IoT.	Пошук балансу проблем технічних і нетехнічних досліджень.

ВИСНОВКИ

У роботі представлений аналіз публікацій останніх років щодо використання математичних методів та моделей для аналізу IoT. Проведений аналіз показав, що під час моделювання IoT використовують такі розділи математики, як теорія ігор, теорія ймовірностей, теорія випадкових процесів, булева та матрична алгебра, теорія графів, теорія чисел, теорія функції комплексної змінної, теорія міри, теорія оптимізації, імітаційне моделювання, кластерний аналіз, чисельний аналіз, математичний аналіз.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- Al-Khafaji Ahmed Waleed DEVELOPMENT OF PSMECA ANALYSIS TECHNIQUE APPLYING IoT COMPONENTS IN PHYSICAL SECURITY SYSTEMS, Radioelectronic and computer systems, 2018, № 3(87), pp.63-73. doi: 10.32620/reks.2018.3.07
- Tarasov, O. F., & Turlakova, S. S. (2018). Mathematical modelling of advanced engineering technologies for smart enterprises: an overview of approaches and ways of implementation. *Econ. promisl.*, 3 (83), pp. 57-75. <http://doi.org/10.15407/econindustry2018.03.057>
- A. Lekidis, P. Katsaros Model-Based Design of Energy-Efficient Applications for IoT Systems, *Simon Bludze and Saddek Bensalem (Eds): Methods and Tools for Rigorous System Design (MeTRiD 2018)* EPTCS 272, 2018, pp. 24–38. doi:10.4204/EPTCS.272.3
- Md Sadek Ali , Yu Li, Md Khalid Hossain Jewel, Oluwole John Famoriji, Fujiang Lin. Channel Estimation and Peak-to-Average Power Ratio Analysis of Narrowband Internet of Things Uplink Systems, *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 2570165, 15 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/2570165>
- Rodney Martinez Alonso, David Plets, Ernesto Fontes Pupo, Margot Deruyck, Luc Martens, Glauco Guillen Nieto, Wout Joseph. IoT-Based Management Platform for Real-Time Spectrum and Energy Optimization of Broadcasting Networks, *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 7287641, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/7287641>
- J. Sathish Kumar, Mukesh A. Zaveri. Clustering Approaches for Pragmatic Two-Layer IoT Architecture, *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 8739203, 16 pages <https://doi.org/10.1155/2018/8739203>
- O'ga N. Lodneva, Egor P. Romasevich ANALYSIS OF DEVICES TRAFFIC OF THE INTERNET OF THINGS, *Modern Information Technologies and IT-Education*, 2018, Vol. 14, no.1. pp.149-169. DOI: 10.25559/SITITO.14.201801.149-169
- Turlakova, S. S. (2019). Information and communication technologies for the development of "smart" industries. *Econ. promisl.*, 1(85), pp. 101-123. <http://doi.org/10.15407/econindustry2019.01.101>
- Mohamed Seliem , KhalidElgazzar, and KasemKhalil. Towards Privacy Preserving IoT Environments: A Survey. *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 1032761, 15 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/1032761>
- Anna Triantafyllou, PanagiotisSarigiannidis, and Thomas D. Lagkas. Network Protocols, Schemes, and Mechanisms for Internet of Things (IoT): Features, Open Challenges, and Trends. *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 5349894, 24 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/5349894>
- Maruf Pasha and Syed Muhammad Waqas Shah. Framework for E-Health Systems in IoT-Based Environments. *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 6183732, 11 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/6183732>
- Sajjad Ali, Muhammad Golam Kibria, Muhammad Aslam Jarwar, Hoon Ki Lee, and Ilyoung Chong. A Model of Socially Connected Web Objects for IoT Applications. *Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 6309509, 20 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/6309509>
- Junwoo Seo, Kyoungmin Kim, Mookyu Park, Moosung Park, and Kyungho Lee. An Analysis of Economic Impact on IoT Industry under GDPR. *Hindawi, Mobile Information Systems*, Volume 2018, Article ID 6792028, 6 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/6792028>
- Pablo Salva-Garcia, Jose M. Alcaraz-Calero, Qi Wang, Jorge Bernal Bernabe, and Antonio Skarmeta. 5G NB-IoT: Efficient Network Traffic Filtering for Multitenant IoT Cellular Networks. *Hindawi, Security and Communication Networks*, Volume 2018, Article ID 9291506, 21 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/9291506>
- Sufian Hameed, Faraz Idris Khan, and Bilal Hameed. Understanding Security Requirements and Challenges in Internet of Things (IoT): A Review. *Hindawi, Journal of Computer Networks and Communications*, Volume 2019, Article ID 9629381, 14 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/9629381>
- Елєзаров М.А. Модели и алгоритмы информационного взаимодействия в сетях Интернета вещей. Автореферат дис. на соискателя ученой степени кан.техн.наук. С.-П., 2017, С.18.
- Spencer Breiner, Eswaran Subrahmanian, Ram D. Sriram. Modeling the Internet of Things: A Foundational Approach. *WoT'16 Proceedings of the Seventh International Workshop on the Web of Things*. Stuttgart, Germany — November 07 - 07, 2016. pp. 38-41. doi>10.1145/3017995.3018003
- Paul Bogdan, Miroslav Pajic, Partha Pratim Pande, Vijay Raghunathan. Making the Internet-of-Things a Reality: From Smart Models, Sensing and Actuation to Energy-Efficient Architectures. *CODES '16 Proceedings of the Eleventh IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis*. Pittsburgh, Pennsylvania — October 01 - 07, 2016. Article No. 25. doi>10.1145/2968456.2973272
- Gabriele D'Angelo, Stefano Ferretti, Vittorio Ghini. Modeling the Internet of Things: a simulation perspective. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1707.00832v2>. <https://doi.org/10.1109/HPCS.2017.13>.
- George Margelis, Xenofon Fafoutis, George Oikonomou, Robert Piechocki, Theo Tryfonas, Paul Thomas. Efficient DCT-based secret key generation for the Internet of Things. *Ad Hoc Networks* 92 (2019) 101744, p.1-11.
- Mohammad Saeid Mahdaveinejad, Mohammadreza Rezvan, Mohammadamin Barekatin, Peyman Adibi, Payam Barnaghi, Amit P. Sheth. Machine learning for internet of things data analysis: a survey. *Digital Communications and Networks* 4 (2018), pp.161–175.
- Guoru Ding, Long Wang, Qihui Wu. Big Data Analytics in Future Internet of Things. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1311.4112>.
- Peter J. Ryan and Richard B. Watson. Research Challenges for the Internet of Things: What Role Can OR Play? *Systems* 2017, 5, 24. doi:10.3390/systems5010024.

Моделювання Коливних Процесів в Чотиришаровому Стрижні Кусково Сталого Перерізу

Р.М. Тацій

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна

О.О. Карабин

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
tosjakarabyn@gmail.com

О.Ю. Чмир

кафедра прикладної математики і механіки
ЛДУ безпеки життєдіяльності
Львів, Україна
o_chmyr@yahoo.com

Modeling of Oscillatory Processes in a Four-Layer Rod of a Piecewise Constant Section

R.M. Tatsij

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine

O.O. Karabyn

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine
karabynoks@gmail.com

O.Yu. Chmyr

Department of Applied Mathematics and Mechanics
Lviv State University of life safety
Lviv, Ukraine
o_chmyr@yahoo.com

Анотація – Розглянуто першу крайову задачу для рівняння гіперболічного типу коливних процесів в стрижні з чотирьох кусків кусково – сталого перерізу та навантаженням в правій частині. Знайдено розв'язки такої задачі за допомогою концепції квазіпохідних, сучасної теорії систем лінійних диференціальних рівнянь, класичного методу Фур'є та методу редукції.

Abstract – The first boundary value problem for equation of hyperbolic type of oscillatory processes in a four-layer rod of piecewise-constant section and force in right parts was considered. The solutions of a such problem were found by using a concept of quasi-derivatives, a modern theory of systems of linear differential equations, the classical Fourier method and a reduction method.

Ключові слова: квазидиференціальне рівняння, крайова задача, матриця Коші, задача на власні значення, метод Фур'є та метод власних функцій.

Keywords: kvazidifferential equation, the boundary value problem, the Cauchy matrix, 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. Важливу роль в цьому методі відіграє

концепція квазіпохідних, яка дозволяє уникнути проблеми множення узагальнених функцій.

В цій роботі розглядаємо гіперболічне рівняння коливних процесів в стрижні що складається з чотирьох кусків кусково - сталого перерізу та навантаженням, що задається функцією в правій частині рівняння. Для рівнянь гіперболічного типу, вперше, подібні ідеї були впроваджені в роботах [1-3].

II. ОСНОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ, ФОРМУЛЮВАННЯ ЗАДАЧІ, ПОБУДОВА РОЗВ'ЯЗКУ

Нехай L – відкритий інтервал дійсної осі R , $[x_0; x_4] \subset L$ – відрізок дійсної осі; $0 = x_0 < x_1 < x_2 < x_3 < x_4 = l$ – довільне розбиття відрізка $[x_0; x_4]$ дійсної осі Ox на чотири частини; $F_i, i = \overline{0,3}, E, \rho$ – сталі, $g_i(x), i = \overline{0,3}$, – додатньо визначені функції на $[x_i; x_{i+1}]$. Покладемо $F(x) = \sum_{i=0}^3 F_i \cdot \theta_i$, $g(x) = \sum_{i=0}^3 g_i(x) \cdot \theta_i$, де θ_i – характеристична функція проміжку $[x_i; x_{i+1}]$; $u^{[1]} = F(x) \cdot u_x'$ – квазіпохідна.

Розглянемо першу крайову задачу для рівняння гіперболічного типу

$$\frac{\rho}{E} \cdot F(x) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial}{\partial x} \left(F(x) \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) + g(x), \quad (38)$$

$$x \in (x_0; x_4), t \in (0; +\infty),$$

$$\begin{cases} u(x_0, t) = \psi_0(t), \\ u(x_4, t) = \psi_1(t), \end{cases} t \in [0; +\infty), \quad (39)$$

$$\begin{cases} u(x, 0) = \varphi_0(x), \\ \frac{\partial u}{\partial t}(x, 0) = \varphi_1(x), \end{cases} x \in [x_0; x_4], \quad (40)$$

де $\psi_0(t), \psi_1(t) \in C^2(0; +\infty)$, $\varphi_0(x), \varphi_1(x)$ – кусково-неперервні на $(x_0; x_4)$.

Метод редукції відшукування розв'язку задачі детально описаний, наприклад, в [4, 5]. Згідно з цим методом розв'язок задачі (38) - (40) шукаємо у вигляді суми двох функцій

$$u(x, t) = w(x, t) + v(x, t). \quad (41)$$

Визначимо функцію $w(x, t)$ спеціальним способом, як розв'язок крайової задачі

$$(F(x) \cdot w_x')_x' = -g(x), \quad (42)$$

$$\begin{cases} w(x_0, t) = \psi_0(t), \\ w(x_4, t) = \psi_1(t), \end{cases} t \in [0; +\infty). \quad (43)$$

В основі методу розв'язування задачі (42), (43) лежить концепція квазіпохідних [6].

Запишемо мішану задачу для функції $v(x, t)$, враховуючи, що функція $w(x, t)$ задовольняє (42)

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(F(x) \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\rho}{E} \cdot F(x) \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \frac{\rho}{E} \cdot F(x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (44)$$

$$x \in (x_0; x_4), t \in (0; +\infty),$$

$$\begin{cases} v(x_0, t) = 0, \\ v(x_4, t) = 0, \end{cases} t \in [0; +\infty), \quad (45)$$

$$\begin{cases} v(x, 0) = \Phi_0(x), \\ \frac{\partial v}{\partial t}(x, 0) = \Phi_1(x), \end{cases} x \in [x_0; x_4], \quad (46)$$

$$\text{де } \Phi_0(x) \stackrel{\text{def}}{=} \varphi_0(x) - w(x, 0), \Phi_1(x) \stackrel{\text{def}}{=} \varphi_1(x) - \frac{\partial w}{\partial t}(x, 0).$$

Для розв'язання задачі (47) - (48) застосовано метод власних функцій [5].

ВИСНОВКИ

Отримано явні формули для обчислення розв'язку та його квазіпохідної для будь-якого підінтервала основного проміжку, які є справедливими для довільної скінченної кількості точок розриву першого роду згаданих вище коефіцієнтів. Зауважимо, що отримані результати мають безпосереднє практичне застосування в теорії коливань стрижнів з кусково-змінним розподілом параметрів.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] R. M. Tatsij, O. Yu. Chmyr, O. O. Karabyn, "The direct method of research of the oscillation processes for the wave equation with the pieewise continuous distribution parameters" *Visnyk Lvivskogo derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttedijalnosti*, vol. 15. Lviv, 2017. pp. 68-80.
- [2] Р. М. Тацій, О. Ю. Чмир, О. О. Карабин, "Загальні крайові задачі для гіперболічного рівняння із кусково-неперервними коефіцієнтами та правими частинами" *Дослідження в математиці і механіці*, т. 22, вип. 2 (30), Одеса, 2017. с. 55-70.
- [3] R. M. Tatsij, O. Yu. Chmyr, O. O. Karabyn, "The total first boundary value problem for equation of hyperbolic type with pieewise constant coefficients and δ -singularities" *Researches in Mathematics and Mechanics*. Vol. 24. Odesa, 2019. pp. 86-102.
- [4] Арсенин В.Я. Методы математической физики. - М.: Наука, 1974. - 432 с.
- [5] Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1977. - 735 с.
- [6] Тацій Р.М. Узагальнені квазидиференціальні рівняння / Р.М. Тацій, М.Ф. Стасюк, В. Мазуренко, О.О. Власій - Дрогобич. Коло, 2011. - 297 с.

З М І С Т

СЕКЦІЯ 1. Інформаційні технології в технічних та системах спеціального призначення	3
SECTION 1. Information technologies in technical systems and systems of special purpose	3
Визначення Подібності Геопросторових Ліній	4
Віталій Горелов	4
Team Communication Methods in the Project. Remote Work Communication	6
Sofia Slupska, Volodymyr Kobziev.....	6
Методика Багатокритеріального Оцінювання як Інструмент Верифікації Характеристик Якості Програмного Забезпечення	8
Юлія Безкоровайна	8
Навігаційна Система Автономного Мобільного Робота на Основі Алгоритму A* (стар)	10
О. Білоконь	10
Участь Безпілотних Літальних Апаратів та Геоінформаційних Систем при Прорахунку Транспортних Систем Великих Міст (на Прикладі Міста Києва)	14
Шепетука Ю.М., Бондар С.О., Тимчишин Р.М.	14
Recommendation system for audiobook service	16
Mykhailo Borodin	16
Про комп'ютерні методи діагностики, ведення і підтримки повторного лікування залежних (адиктивних) пацієнтів	20
Іван Варава, Валерій Писаренко, Юлія Писаренко, Микола Фесенко	20
Комп'ютерно-інтегровані технології як глобальна тенденція розвитку безпеки судоводіння інноваційного суспільства	23
Наталія Пунченко, Олександра Цира, Надія Казакова	23
Концепція програми для задач моделювання структури і «поведінки» мобільних роботів із ШІ, призначених для супроводу пошуково-рятувальних операцій в комбінації середовищ (повітряне, наземне, підводне) та навчання	26
Олександр Коваль	26
Технологія автоматизації процесу збору та передачі даних для експертизи сортів рослин на відмінність, однорідність та стабільність	29
Олександр Коваль, Анатолій Бойко, Валерій Писаренко, Юлія Писаренко	29
Фрактальний метод геопросторової оцінки транспортної освоєності територій	32
Кузніченко Світлана, Бучинська Ірина, Клепатська Вікторія.....	32
Визначення оптимального складу групи БПЛА для виконання поставленої задачі на основі теорії нечітких множин	36
Леонід Гуляницький, Максим Огурцов	36
До питання використання безпілотних літальних апаратів для підвищення безпеки проходження морських суден від метановиверження	40
Валерій Писаренко, Юрій Панасюк, Володимир Красношапка	40
Інтегрована система прогнозування часових рядів на основі технології керованого навчання нейронних мереж, на прикладі змін котировок фінансових інструментів на фондових ринках	43
Віктор Синеглазов, Вадим Панькін	43
Інтелектуальна система аналізу музикальних творів	47
Синеглазов Віктор, Чумаченко Олена, Пацера Володимир	47

Моделювання Чутливості Обчислень Точки Безбитковості за Допомогою Оптимізації	49
Федорчук Євдоким, Шайда Оксана.....	49
Text and audio synchronization system for audiobooks service	51
Roman Khrypa	51
Методика Розрахунку Дальності Виявлення і Супроводу Цілі Лазерної Оптико-Електронної Станції Моніторингу Повітряного, Наземного та Надводного Простору	55
Шостко Ігор, Куля Юлія.....	55
Concepts and methods of the fractal approach in science education: innovative technology and computer modeling	61
Nataliya Yurkovych, Mykhaylo Mar'yan, Vladimir Seben, Andrea Klucarova	61
СЕКЦІЯ 2. Інформаційні технології в соціумі, освіті, медицині, економіці, управлінні, екології та юриспруденції	65
SECTION 2. Information technologies in society, education, medicine, economics, management, ecology and law	65
Модель та Додаток для Визначення Індикаторних Характеристик Профілів Користувачів Соціальних Мереж ..	66
Олег Бісикало, Антон Концевой.....	66
Персоналізовані Медичні Веб-Сервіси	70
Шевченко Г.Я., Шумейко О.О., Чорненко М.В.	70
Ідентифікація та Механізми Подолання Розривів у Різних Типах Наукових Комунікацій	74
Шевченко Г.Я., Білозубенко В.С., Марченко О.А.	74
Про Викладання Дисциплін з Моделювання Складних Систем	77
Василь Бегун, Олексій Волошин	77
Переваги використання методів нечіткої логіки в задачах класифікації	80
Анастасія Галушак	80
Засади Розвитку Хмарних Технологій	82
Василь Горбачук, Сергій Гавриленко, Геннадій Голоцуков, Максим Дунаєвський	82
Віртуальна Математична Лабораторія в Навчальному Процесі	85
Вікторія Данилюк, Марія Семаньків	85
Система Комп'ютерної Алгебри Maxima	88
Наталія Лазорко, Марія Семаньків.....	88
Онтологічна модель для представлення інформації наукових установ	90
Лариса Глоба, Богдан Задєєнко, Новогрудська Ріна	90
Моделювання Процедури Мамографічних Обстежень в Медичних Системах Підтримки Прийняття Рішень	94
Анатолій Поворознюк, Оксана Поворознюк, Халед Шехна	94
Вибір інформаційної платформи для відображення міграційних процесів наукових кадрів	96
Євген Самородов, Ольга Морева, Алла Патіоха	96
Хмарні Технології для Навчання та Досліджень	98
Олена Смалько	98
Впровадження елементів електронної участі у навчальних закладах на основі досвіду впровадження державних інструментів електронної демократії в Україні	100
Олексій Фразе-Фразенко, Іван Копиченко	100

СЕКЦІЯ 3. Теорія інформації, кодування, перетворення форми, цифрової обробки та ущільнення інформації	104
SECTION 3. Information theory, coding and information form transformation	104
Загальні Принципи Побудови Систем Числення	105
Олексій Борисенко, Ігор Кулик, Марина Шевченко	105
Зважена Псевдоінверсія з Індефінітними Вагам	107
Галба Євген, Варенюк Наталія, Тукалевська Нелля	107
Image Phase Characteristics at the Output of Gabor Filters	113
Olena Osharovska, Oleksandr Vuznjuk	113
Ітеративне Декодування Стирань в Циклічних Кодах	115
Василь Семеренко, Олександр Войналович	115
Метод шифрування на основі перетворення Уолша	117
Володимир Лужецький, Анатолій Білецький	117
СЕКЦІЯ 4. Глибинний аналіз та організація даних, технології великих даних, системи штучного інтелекту, «розумні» аплікації	119
SECTION 4. Deep analysis and data organization, big data technologies, artificial intelligence systems, smart applications	119
Цифрова Обробка Інформації на Основі Дискретного Трійкового Симетричного Вейвлет-Перетворення	120
Артем Ізмайлов	120
Смарт-Технології у Кримінальному Судочинстві	122
Ковальчук Ольга Ярославівна	122
Self-Organized Structures in the Non-Crystalline Solids: Synergetic Model and Application to the Information Technology	124
Mykhaylo Mar'yan, Nataliya Yurkovych, Vladimir Seben	124
Алгоритм Побудови Масштабних Функцій Вейвлетів Галуа	128
Превисокова Наталя	128
СЕКЦІЯ 5. Захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах	130
SECTION 5. Information protection in information and telecommunication system	130
Псевдонедетерміновані Криптографічні Перетворення для Захисту Даних Смарт-Контрактів	131
Юрій Барішев, Аліна Остапенко-Боженова	131
IT Audit Course Development for Cybersecurity Curricula Students Using USA's methodology	135
Yurii Baryshev, Olesia Voitovych	135
Захищеність Інформації від Витоку Технічними Каналами для Джерел з Великим Дисбалансом Знаків	137
Сергій Іванченко, Олег Руцак, Анатолій Голішевський, Василь Некоз	137
Зведення Аналізу Сімейства Твікових Блокових Шифрів до Обчислення Диференціальних Властивостей Внутрішнього Блокового Шифру	141
Ігор Ломаченко	141
Використання Системного Підходу до Дослідження Систем Управління Інформаційною Безпекою	144
Володимир Мохор, Василь Цуркан, Ярослав Дорогий	144

Аналіз Методів Захисту від XSS Атак	146
Печенюк Олександр, Войтович Олеся, Куперштейн Леонід, Бондарчук В'ячеслав	146
Верифікація Користувача на Основі Фазового Портрету Електрокардіограми	149
Леонід Файнзільберг, Юлія Осадча, Анастасія Заболотна.....	149
Системний Аналіз Процесу Забезпечення Безпеки при Організації Повітряного Руху	153
Владислав Черниш	153
Побудова Модифікації Постквантової Криптосистеми AJPS-1 Шляхом Зміни Метрики	157
Дарія Ядуха, Андрій Фесенко	157
СЕКЦІЯ 6. Архітектоніка та компоненти комп'ютерних систем та мереж	160
SECTION 6. Components, computer systems and networks architectonics	160
Еволюційний Метод Реінжинірингу Топологічних Структур Корпоративних Комп'ютерних Мереж	161
Володимир Безкоровайний, Ганна Безугла	161
Development and Modelling of Devices for Squaring Numbers on FPGA	163
Volodymyr Hryha, Taras Benko, Stepan Melnychuk, Lesya Nykolaichuk, Ludmyla Hryha, Orest Volynskyi	163
СЕКЦІЯ 7. Математичне та комп'ютерне моделювання складних систем	169
SECTION 7. Mathematical and computer modelling of complex systems	169
Modeling the Process of Controlling the Pid Controller for Safe Landing of a Quadcopter in Case of an Accident	170
Bohdan Blagitko, Yuriy Mochulsky, Ihor Zajachuk	170
Застосування Робототехніки для Обстеження Шахти	174
Ольга Гаврилук, Тетяна Чоботок, Сергій Іовов, Надія Чумакова	174
Вплив Неоднорідного Механічного Навантаження на Електростатичне Поле Порожнистого Діелектричного Циліндра	177
Ольга Грицина.....	177
Класифікація Звуків з Використанням Згорткових Автокодувальників	181
Анастасія Кривохата	181
Обробка Інформації Стосовно Стрілецьких Видів Спорту	183
Анатолій Лопатьєв, Андрій Демічковський, Андрій Власов	183
Модернізація Комп'ютерно-Інтегрованої Системи Подачі Палива Суднових Дизелів	188
Володимир Голюков, Віталій Нікольський, Євген Оженко, Марк Нікольський	188
Керування Гідродинамічним Режимом Магістрального Аміакопроводу	192
Ярослав П'янило, Назар Притула, Мирослав Притула	192
Аналіз Режимів Руху Газу в Трубопровідних Системах за Наявності Витоків	196
Ярослав П'янило, Назар Притула, Мирослав Притула	196
Modeling of Hydrodynamics Processes with Phase Transitions by Homogenization	201
Gennadiy Sandrakov	201
Утворення Фрактальної Структури Комбінаторних Множин	203
Тимофієва Н.К.....	203

Моделювання Конвективної Дифузії Забруднень У Двошарових Фільтрах Води за Апроксимації Граничної Умови на Невідомому Часовому Інтервалі	207
Ольга Чернуха, Юрій Білушак	207
Моделювання Еволюції Поодиноких Хвиль в Конструкційних Матеріалах. Перші Три Наближення	212
Василь Юрчук, Ярема Рушицький	212
Візуалізаційне моделювання розподілених систем управління підприємствами	216
Любомир Петришин, Михайло Петришин, Міхал Віядерек	216
Визначення Параметрів Висячої Краплі у Момент Відриву	220
Олександр Малько, Ярослав Сусак	220
СЕКЦІЯ 8. Прикладні методи дослідження дискретно-неперервних математичних моделей	224
SECTION 8. Applied methods for continuous and discrete mathematical models research	224
Математичні Методи для Використання в Інтернет Речей	225
Ганна Мамонова, Надія Майданюк	225
Моделювання Коливних Процесів в Чотиришаровому Стрижні Кусково Сталого Перерізу	228
Р.М. Тацій, О.О. Карабин, О.Ю. Чмир	228

Наукове видання

**"ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ"**

**матеріали
Міжнародної науково-практичної конференції
18-22 травня 2020 року
Івано-Франківськ**

**"INFORMATION TECHNOLOGIES
AND
COMPUTER MODELLING"**

**proceedings
of the International Scientific Conference
2020, May, 18th to 21th
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 прим.

Друк: підприємець Голіней О.М.
тел. (0342) 58 04 32

Свідоцтво внесення до державного реєстру
ДК №
Для нотаток

Для нотаток