

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ*

**КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ:
ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО**

НАУКОВИЙ
ЖУРНАЛ



Головний редактор – професор, д.т.н., Гордєєв О.О.

№53 2023

м. Луцьк

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:	
професор, д.т.н. Гордєєв О.О.	(м. Луцьк)
Відповідальний секретар:	
доц., к.т.н. Христинець Н.А.	(м. Луцьк)
Члени редакційної колегії:	
проф., д.т.н. Андрущак І.Є.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Ліщина Н.М.	(м. Луцьк)
проф., д.пед.н. Тулашвілі Ю.Й.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Ліщина В.О.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Здолбіцька Н.В.	(м. Луцьк)
проф, PhD. Miłosz Marek	(Польща, м. Люблін)
проф., д.т.н. Мельник А.О.	(м. Львів)
проф., д.т.н. Мороз Б.І.	(м. Дніпро)
проф., д.т.н. Тарасенко В.П.	(м. Київ)
проф, PhD. Alison McMillan	(Великобританія)
проф, PhD. Дехтяр Ю.Д.	(Литва, м. Рига)
доц., к.т.н Мельник К.В.	(м. Луцьк)
проф., д.пед.н. Черняшук Н.Л.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Костючко С.М.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Дуда О.М.	(м. Тернопіль)
доц., к.т.н. Назаревич О.Б.	(м. Тернопіль)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
доц., к.т.н. Дуда О.М.	(м. Тернопіль)
доц., к.т.н. Ткачук А.А.	(м. Луцьк)
доц., к.т.н. Мороз С.А.	(м. Луцьк)
проф., д.т.н. Сайко В.Г.	(м. Київ)
доц., к.т.н. Євсюк М.М.	(м. Луцьк)

Адреса редколегії:

Луцький національний технічний університет,
кафедра комп'ютерної інженерії та кібербезпеки
вул. Львівська 75, ауд.141
м.Луцьк, 43018
тел. (0332) 74-61-15
E-mail: cit@lntu.edu.ua,
сайт журналу: **cit-journal.com.ua**

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ **ТЕХНОЛОГІЇ:** **ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО**

№53 2023р.

Журнал засновано у грудні 2010 р.
Свідоцтво про реєстрацію KB № 16705–5277 Р.
Засновник: Луцький національний технічний університет
Рекомендовано до друку Науково-технічною радою
Луцького національного технічного університету
(протокол №3 засідання від 22.11.2023р.)
Журнал рішенням МОН України
наказом №515 від 16.05.2016р,
включено в перелік наукових фахових видань.

Видання індексується у
наукометричних та реферативних базах:
Open Academic Journals Index
Academic Resource Index ResearchBib
Rootindexing
Information Matrix for the Analysis of Journals
Ulrichsweb.

ISSN 2524-0560 (Online)
ISSN 2524-0552 (Print)

ЗМІСТ

АВТОМАТИКА ТА УПРАВЛІННЯ	
Anokhin I, Ramazanov D. Matrix metal collimators studies for the spatially fractionated radiation therapy	5
Акімов Д.Д. Застосування технологій інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві	9
Ліхва Н.В., Стадніков В.В., Колосюк А.А., Константінова О.В. Дослідження можливостей геоінформаційних технологій для автоматизованого створення і оновлення цифрових топографічних планів	16
Міскевич О.І., Омельчук Д.Ю. Ручне та автоматизоване тестування блокчейну за допомогою Postman	23
Пех П.А., Мельник К.В., Шепелюк Д.Л., Шепелюк Л.Д. Дослідження технології розпізнавання номерних знаків за допомогою мобільних додатків	31
ІНФОРМАТИКА ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА	
Бортник К.Я., Ярошук Б.Р. Подолання викликів у тренуванні штучного інтелекту: обмеження даних, обчислювальні витрати та надійність моделей.	37
Димова Г.О. Скремблювання мовних сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є	44
Пех П.А., Христинець Н.А. Губиш Р.А., Шульгач В.В. Моделювання двоступінчастої системи регулювання температури	50
Радченко К.О., Лі Бай, Потапова К. Р. Дослідження технології криптографічного захисту інформації в галузі охорони здоров'я та медичної допомоги Китаю	58
Струк І.Т., Юрчак І.Ю. Програмна реалізація стеганографії зображення на основі алгоритму LSB з шифром Цезаря.	63
Черняшук Н.Л., Коваль І.М., Гайдучик М.С., Кушко І.М., Качко В.О. Інтелектуальний аналіз великих сховищ даних	72
Юрчак І.Ю., Григлевич М.І. Рекомендаційна система на основі спільної фільтрації	78
Багнюк Н.В., Лінчук О.М., Шипулін О.О. Аналіз логів трафіку NGINX за допомогою Machine Learning	86
Багнюк Н.В., Мельник В.М., Булатецький В.В., Сичов Д.І., Карпович В.О. Алгоритмічне програмне забезпечення стану та функціонування розподіленої гетерогенної мережі	92
Гринюк С.В., Поліщук М.М., Гринюк М.В., Шульгат В.В., Терешкович В.І. Інтелектуальна система керування освітленням на базі Arduino Uno	98
Громко О.О., Боярінова Ю.Є. Методи застосування штучного інтелекту для багаторівневої оптимізації топології електричних схем	104
Домарацький І.В., Багнюк Н.В., Бортник К.Я., Тишук І.В. Засоби розробки кросплатформного мобільного додатку	111
Кардашук В.С., Бортник К.Я., Багнюк Н.В. Проблеми захисту інформації у віртуальних приватних мережах та відбиття атак на Web-додатки	117
Костенко О.В., Кузенков О.О. Вирішення задачі оптимального розміщення обладнання методом генетичних алгоритмів.	125
Курилко М.І., Марченко О.І. Архітектура енкодера для оптимізації процесу стиснення растрових зображень у формат JPEG	132
Манжула К.О. Ймовірнісний аналіз компетентностей студента на основі компетентнісного підходу.	139
Міскевич О.І., Столенко І.О., Куліков Н.О. Фреймворк testNG як інструмент для написання тестів	152
Осовська І. П., Метелюк С.В., Поліщук М.М., Конкевич Л.М. Мікроконтролерна система вимірювання частоти серцевих скорочень людини	158

Пастернак Р.М. Параметр Габбла в чотиривимірній корпускулярній моделі Всесвіту	166
Петрашенко А.В., Лю Янг. Аналіз даних журналу подій ліфтового інженерного обладнання	173
Пех П.А., Бортник К.Я., Шепелюк Д.Л., Шепелюк Л.Д. Обґрунтування вибору мовної моделі для розроблення голосового асистента мобільного додатку	178
Пікуляк М.В., Домбровський С.В, Дутчак М.С. Удосконалення асинхронного методу взаємодії сервісів у веб-додатках	185
Пістун Є.П., Крих Г.Б., Матіко Г.Ф. Способи зміни швидкостей зсуву в гідродинамічних пристроях для вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин	192
Пітух І.Р Розвиток теорії емерджентного аналізу складних топологій високовольтних мереж на основі методу врахування імовірнісних характеристик відмов	200
Поліщук М.М., Цибень Д.В., Карплюк Ю.І. Обробка інформації за допомогою машинного навчання засобами Python	205
Поплавська Г.В., Лехіцький Т.В., Корінчук Н.Ю. Сучасні методи викладання освітніх компонентів інформатично-математичного циклу з використанням інформаційних технологій	210
Старченко В.В. Алгоритми фрактального стиснення зображень.	215
Ткачов В.М., Д'яков Я.Р., Бітченко О.М. Аналіз динаміки зміни ролей студента, викладача та комп'ютера у сучасному освітньому процесі	222
Христинець Н.А., Мельник К.В., Фенюк А.С., Копчук В.Ю. Аналітика веб-ресурсів як способи рейтингування інформаційних систем	228
Чернящук Н.Л., Бортник К.Я., Франчук Д.В., Осовська І.П., Метелюк С.В., Козелко О.Ю. Методи оцінювання якості людинно-машинної взаємодії	233
Чернящук Н.Л., Бортник К.Я., Тищук М.А., Гнітецький В.В., Кучер В.Л. Методи класифікації атрибутів якості комп'ютерних систем	239
Чернящук Н.Л., Матвійчук А.М., Остапук Д.В., Шелепіна О.В., Бондарчук В.Г. Методи побудови мережевих комутаторів з підтримкою технологій GERON та LTE	246
Чернящук Н.Л., Луцюк А.Ю., Семененко А.Б., Міщенко Т.Ю., Ніколаєва В.О. Топологічна оптимізація комп'ютерних мереж роботизованих систем	251
Чернящук Н.Л., Семенюк В.О., Схабовський М.В., Токар О.В., Оверчук Н.Б. Розпаралелення згорткових нейронних мереж на основі графічних процесорів.	257
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ ТА РАДІОТЕХНІКА	
Беляков Р. О. Проблема інтеграції повітряної мережі класу FANET в мобільну комунікаційну мережу спеціального призначення	263
Левицька Т.О., Парахін Р.О. Система вимірювання докладених зусиль, руху та вібраційного відгуку весла з Bluetooth®-комунікацією	277
Радзівілов Г.Д., Ільїнов М.Д., Хоменко П.В. Дослідження функціональних можливостей трьохелементної антени - хвильового каналу	284
Розломій І.О., Косенюк Г.В., Науменко С.В., Михайловський П.В. Моделювання системи датчиків на базі мікроконтролера в ігровій симуляції «смарт-будинок» з використанням шифрування даних	292
Роман В.І., Прокопів В.О. Алгоритм побудови тривимірного макета ультразвукового витратоміра для його CFD-аналізу.	300
Рощенко О.М. Дослідження особливостей проектування радіотехнічних систем з радіоканалами.	309
Капаціла Р.І., Сверстюк А.С. Застосування дерев прийняття рішень для прогнозування настання серцевих захворювань	317

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-01>

UDC: 539.352.315

Anokhin Igor, Senior researcher

<https://orcid.org/0000-0001-5880-0711>

Ramazanov Dmytro, master, Junior researcher

<https://orcid.org/0000-0002-0497-4860>

Kyiv institute for nuclear research, Kyiv, Ukraine

MATRIX METAL COLLIMATORS STUDIES FOR THE SPATIALLY FRACTIONATED RADIATION THERAPY

Anokhin I, Ramazanov D. Matrix metal collimators studies for the spatially fractionated radiation therapy.

Traditional radiation therapy is hindered by limitations in dose delivery and the risk of over-irradiation, which can harm healthy tissues surrounding tumors. Spatially fractionated and intensity-modulated radiation therapies have emerged as promising techniques to mitigate these issues by reducing damage to healthy tissues. This study explores the potential of enhancing radiation therapy's therapeutic efficacy through spatial fractionation of X-ray beams, a technique that can significantly increase radiation efficiency by reducing the dose load on healthy tissues. This research hypothesizes that microscopic lesions within the paths of micro/mini-beams can be repaired by minimally irradiated cells adjacent to the irradiated tissue slices, based on observations with high-energy (MV) photons. Spatial fractionation is particularly valuable for X-ray and electron radiation therapy, which is more widespread and cost-effective than proton therapy. The study introduces a new type of cost-effective metal matrix collimators designed for beam fractionation. These collimators are constructed using lead plates for thickness variation implementation and employ a 5x5 hole matrix with 1 mm diameter and 3 mm pitch, covering an area of 14x14 mm². To visualize beam distribution, a Timepix detector, capable of providing real-time 2D beam profiles, was employed. Experiments were conducted using a medical LINAC with typical therapeutic energy ranging from 6 to 18 MeV. Results indicate that spatial fractionation can be achieved for X-ray radiation, with a PVDR of approximately 3 for a 3 cm lead collimator. However, issues with hole uniformity and blurring in the peak area prompted a shift to using copper collimators due to their superior manufacturing properties. This study presents a novel matrix collimator design made from various materials for shaping mini beams, aimed at improving the efficiency of spatial dose fractionation for different ionizing radiation types. Geant4 simulations have been instrumental in optimizing collimator features. The findings suggest that high levels of dose fractionization can be achieved for X-rays, electrons, and proton beams. These results warrant further biological studies to evaluate the effects of fractionation on normal and tumoral tissues, supporting the practical implementation of collimation in radiation therapy.

Key words: Radiation therapy, spatially fractionated radiation therapy, metal matrix collimator, PVDR, TimePix detector, Monte Carlo simulations.

Introduction. The efficiency of traditional radiation therapy is decreased by the dose delivery limitations and over irradiation. The spatially fractionated and intensity-modulated radiation therapy can significantly reduce the damage of the healthy tissues around tumors. The present work is dedicated to the researching of the possibility of enhancing the therapeutic effect in radiation therapy by the spatial fractionation of x-ray beams. Fractionation can significantly increase radiation efficiency by reducing the dose load on healthy tissues. The main parameter of fractionization is peak-to-valley-dose-ratio (PVDR). The minimum dose in the central region between two beams is named valley dose and the dose in the center of the beam is the peak dose. The ratio between peak and valley doses is called peak-to-valley dose ratio and plays a pivotal role in biological response. High-quality fractionation is considered with the parameter PVDR 8 and higher. In addition, it is essential that the valley dose is kept to a minimum to ensure the preservation of normal tissue architecture and survival of sufficient cells needed for healthy tissue repair. It was hypothesized that the microscopic lesions in the micro/mini-beams paths are repaired by the minimally irradiated cells contiguous to the irradiated tissue slices [1]. This reparation effect was observed in experiments with high energy (MV) photons. Spatially fractionating is very important techniques for the x-ray or electron radiation therapy that are more spread in most part of countries and cheaper than hardon therapy.

Methods. In the present paper the new type of the cheap metal matrix collimators for the beam fractionization has been presented (see Fig.1). For example, the collimator presented in the upper part of the Fig.1 is made of lead plates for thickness variation implementation. Beam splitting provides by hole matrix 5x5, 1 mm diameter and 3 mm pitch, area covering 14x14mm². For the hit distribution imaging a Timepix detector has been used. This is hybrid active pixel detector, which was developed within the Medipix collaboration at CERN. The main part of a Timepix detector is the active sensor layer, which is segmented into a square matrix of 256x256 pixels with a pixel pitch of 55 µm, thus covering an area of 14x14 mm². Each pixel is connected to its own readout chain.

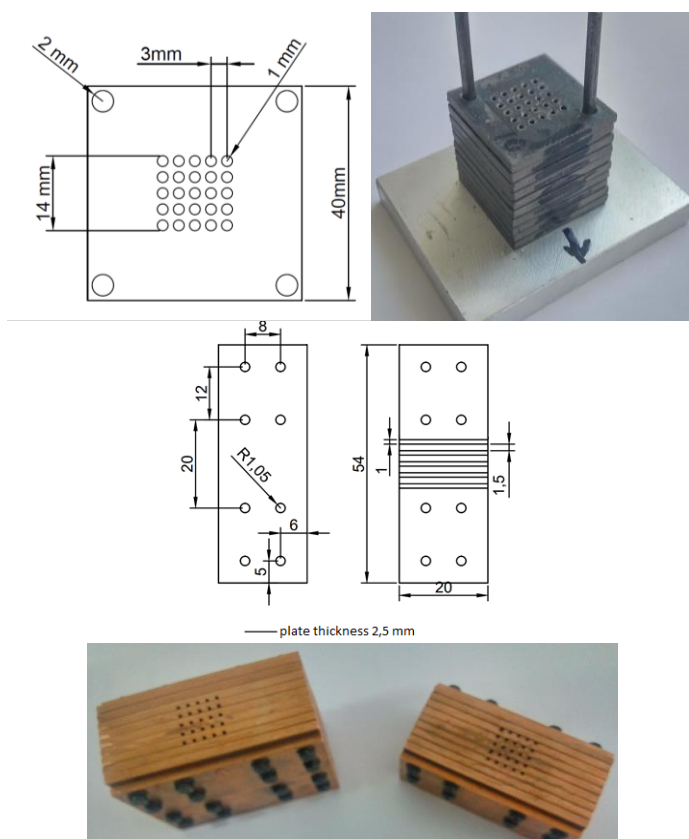
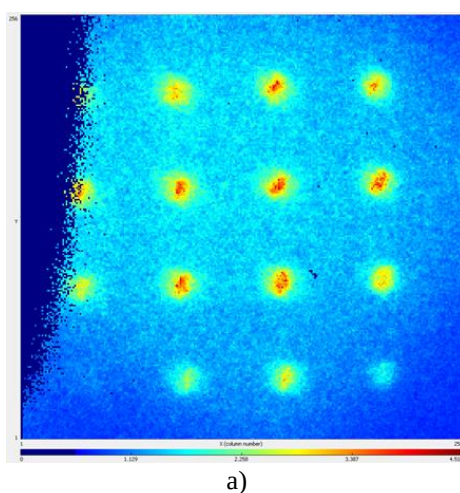
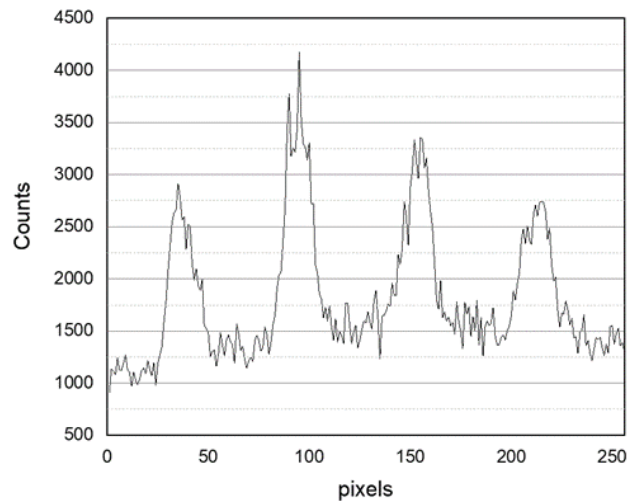


Fig. 1. The prototypes of lead and copper collimators. The drafts and the fabricated prototypes

The detector segmentation allows to get 2-dimension picture of beam profile in real time [2].

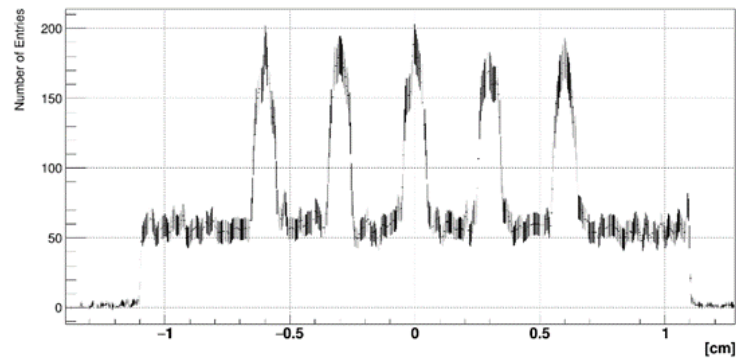
Experiment have been conducted on the medical LINAC with typical therapeutic energy 6-18 MeV. Distance from accelerator to collimator was 1 m. Experiment have been implied irradiation Timepix detector by 6 MeV x-ray radiation through metal collimator for studying efficiency of fractionation.



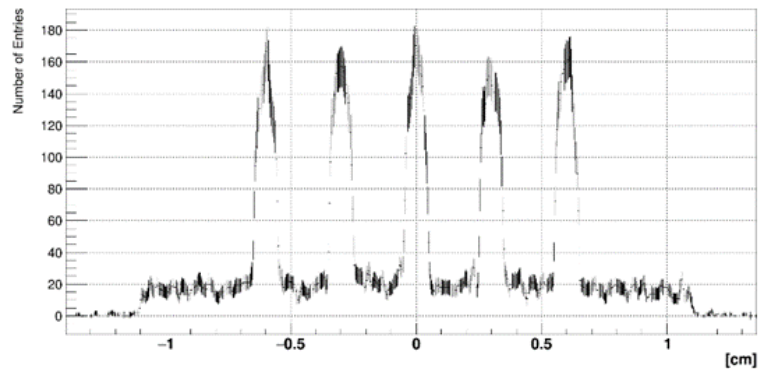


b)

Fig. 2. Fractionation of X-ray radiation with a limiting energy of 6 MeV using a lead matrix collimator 3cm thickness. a) Timepix 2D hit distribution (deep blue area is dead pixels), b) beam profile



a)



b)

Fig. 3. Simulated profile of collimated x-ray radiation for a) 3 cm lead collimator and b) 10 cm copper collimator.

Results. Results of experiment report, that spatially fractionation can be achieved for x-ray radiation. PVDR for 3 cm collimator was about 3. It was the maximum thickness available for lead, but even with such a collimator thickness, we can see that the holes are not the same, and the peak area is blurred (Fig.2). This can be explained by the complexity of processing lead and, consequently, the poor quality of the collimator itself, in particular, the holes. That is why it was decided to choose the copper instead the lead for the collimator fabrication. Copper is better in manufacturing and can be used for different types of irradiation. New prototype design was enhanced in favor of collimator scaling and modularity (Fig.1). Detailed results of experiment and simulation for new one will be presented in full paper.

Geant4 toolkit version 10.6 has been used for the simulation of the operation of the presented new type of collimators. For the correct comparison of the simulation and experiment, all experimental conditions (distances, materials, environment) were reproduced. For calculation was used physics list QGSP_BERT_HP with cut 0.1 mm.

Discussions. Results of simulation show possibility for high rate x-ray radiation fractionization. Several types and geometries of collimators were investigated to assess the possible gain in tissue sparing with respect to seamless irradiation. Simulations for the lead collimator show similar to the experiment result (Fig.3a), but graph of simulation is more accurate also, this is a consequence of material disadvantages. Copper collimator with thickness 10 cm (Fig.3b) provides PVDR higher than 8 under 6 MeV X-ray irradiation This is acceptable result for such beam type.

Conclusions. In the present work, a new type of matrix collimator made out of different materials for the shaping mini beams has been developed and tested to improve the efficiency of the spatial dose fractionation for different types of ionizing radiation.

The Geant4 Monte Carlo simulation code has been developed to optimize the features (material, thickness, etc.) of collimating systems (multi slits or matrix) to produce optimal multi-beam structures for maximum efficiency of spatially fractionated radiation therapy It has been shown that the high levels of delivery dose fractionization can be achieved for x-rays, electrons and proton beams.

The general conclusion is that fractionation seems to offer a promising alternative to treat delicate cases. Following this results, biological studies are warranted to assess the effects of fractionation on both normal and tumoral tissues, for which the practical implementation of collimation seems justified.

References

1. Y. Prezado and G.R. Fois, "Proton-minibeam radiation therapy: A proof of concept", Medical Physics, Vol. 40, No. 3
2. V. Pugatch et al., "Metal micro-detector TimePix imaging synchrotron radiation beams at the ESRF Bio-Medical Beamline ID17", Nucl. Instr. Meth., Vol. A682, 2012, p. 8-11

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-02>

УДК: 681.51

Акімов Дмитро Дмитрович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-2440-1864>

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИКИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Акімов Д.Д. Застосування технологій інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві. У роботі досліджено застосування технологій Інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві. Підкреслено, що Інтернет речей, це концепція числової мережі фізичних предметів оснащених вбудованими технологіями для взаємодії з іншими або із зовнішнім середовищем. Наголошується, що впровадження нових і розвиток існуючих цифрових технологій дає можливість оптимізувати існуючі процеси в міжнародній економіці. Тому впровадження технологічних рішень в агропромисловий комплекс необхідно розглядати в якості важливого методу підвищення ефективності моделей управління, а також основою для подальшого розвитку та модернізації сільськогосподарської галузі. Описано важливість та актуальність електронної комерції в умовах функціонування Інтернет-споживання. Наголошується на проблемах підвищення своєчасності логістики холодового ланцюга, проблемах транспортування та регуляції холодового режиму для сільськогосподарської продукції, яка цього потребує. Підкреслено, що електронна торгівля свіжими продуктами оптимізує ланцюг поставок, забезпечує логістику холодного ланцюга, підвищує прозорість інформації та доставляє свіжі продукти споживачам ефективно та прозоро. Графічно представлено логістику холодового ланцюга та процес розподілу сільськогосподарської продукції на основі Інтернету речей, описано етапи проходження продукції від виробника до кінцевого споживача. Наголошується, що прискорення розвитку логістики холодового ланцюга може подовжити термін придатності та термін реалізації сільськогосподарської продукції та зменшити рівень втрат при транспортуванні сільськогосподарської продукції, забезпечуючи при цьому якість продукції, тим самим зменшуючи витрати на логістику та забезпечення економічної вигоди від електронної торгівлі свіжими продуктами харчування.

Ключові слова: логістика, поставки, продукція, сільське господарство, Інтернет речей, технології.

Akimov D. Application of internet of things technologies to optimize logistics in agriculture. The paper examines the use of Internet of Things technologies to optimize logistics in agriculture. It is emphasized that the Internet of Things is a concept of a numerical network of physical objects equipped with built-in technologies for interaction with others or with the external environment. It is emphasized that the introduction of new and development of existing digital technologies makes it possible to optimize existing processes in the international economy. Therefore, the implementation of technological solutions in the agro-industrial complex must be considered as an important method of increasing the efficiency of management models, as well as a basis for further development and modernization of the agricultural industry. The importance and relevance of electronic commerce in the conditions of Internet consumption is described. It emphasizes the problems of increasing the timeliness of cold chain logistics, the problems of transportation and the regulation of the cold regime for agricultural products that need it. It is emphasized that e-commerce of fresh products optimizes the supply chain, ensures cold chain logistics, increases transparency of information and delivers fresh products to consumers efficiently and transparently. The logistics of the cold chain and the process of distribution of agricultural products based on the Internet of Things are graphically presented, the stages of the passage of products from the producer to the final consumer are described. It is emphasized that accelerating the development of cold chain logistics can extend the shelf life and the period of sale of agricultural products and reduce the level of losses during the transportation of agricultural products, while ensuring the quality of products, thereby reducing logistics costs and ensuring economic benefits from electronic trade in fresh food.

Key words: logistics, supplies, products, agriculture, Internet of things, technologies.

Вступ та постановка проблеми. В останні роки модернізація та популяризація Інтернету речей посилили зміни в моделях споживання людей. Інтернет-споживання поступово стало звичкою, і споживачі можуть купувати високоякісні товари з усього світу, не виходячи з дому. Поєднання електронної комерції та індустрії свіжої сільськогосподарської продукції, заснованої на Інтернеті речей, перевернуло традиційну модель продажу сільськогосподарської продукції. Дані показують, що масштаб електронної торгівлі свіжими продуктами харчування в Україні швидко розвивається з темпом зростання понад 30%. З постійним розвитком Інтернет-додатків і швидким розширенням платформ електронної комерції електронна комерція свіжої їжі продовжує залучати великі вітчизняні компанії електронної комерції до участі в ринковій конкуренції. Проте, на сьогодні, підвищення своєчасності логістики холодового ланцюга стало найбільшою проблемою, з якою стикається розвиток великих компаній електронної комерції. Вартість транспортування є найважливішою частиною витрат на розподіл холодного ланцюга логістики, а найважливішою є вибір конкретних методів транспортування. У широко використовуваних традиційних методах

транспортування свіжої продукції проблемою є те, що продукція швидко псується, що призводить до максимізації відходів.

Високі витрати на логістику холодового ланцюга підвищують ціни на продаж свіжої сільськогосподарської продукції на платформах електронної комерції, що робить підприємства більш чутливими до витрат на логістику. Крім того, рівень втрат свіжої сільськогосподарської продукції в обігу є дуже високим, у середньому сягає 30%, у той час як рівень втрат звичайного товару становить менше 1% [1]. Якщо товар не відповідає очікуванням споживачів і повертається або обмінюється, він не може бути проданий знову відповідно до теорії терміну придатності свіжих сільськогосподарських продуктів. Тому це також створює дуже високі зворотні логістичні витрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Формулювання наукової думки в окресі застосування технологій Інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві є різномірним та масштабним. У сучасній науковій площині з'являються роботи присвячені дослідженням сучасних технологій Інтернету речей та алгоритмів їх впровадження у інтелектуальні логістичні системи в сільському господарстві для підвищення ефективності роботи в сучасних умовах розвитку.

С. Яремко, О. Кузьміна [2] розглянули особливості Інтернету речей (IoT); дослідили переваги та недоліки використання IoT, а також принципи управління пристроями Інтернету речей; здійснили огляд галузей використання Інтернету речей в житті людини та професійної діяльності.

У роботі [3] розглянуто етапи функціонування Інтернету Речей та рівні його архітектури. На основі аналізу ряду літературних джерел визначено, що найбільший вплив IoT здійснює на такі шість індустрій як: електроенергетика і житлово-комунальне господарство, охорона здоров'я, землеробство і тваринництво, транспортування і зберігання вантажів, «розумне місто» і будівництво, промислове виробництво. Здійснено аналіз основних видів послуг для кожної з названих індустрій та відзначено роль Інтернету Речей для їх розвитку. Представлено схему інтелектуальної транспортної системи для міста Київ.

О. С. Бондар та О. В. Ткаченко [4] зазначають, що нове покоління послуг на основі цифрових даних і штучного інтелекту спрямоване на оптимізацію операційної ефективності в реальному часі вздовж логістичного ланцюжка поставок від прогнозування попиту до планування ресурсів, складання графіків, завантаження, транспортування, управління автопарком, оптимізації маршрутів, інформації про місцезнаходження та доставки.

Із зарубіжних авторів варто відмітити роботи таких науковців як: Лінь Жуї [5], Лі Фан, Лі Тао [6], Лі Сяомін, Хоу Бінфа, Чжан Жихун, Лю Юнсінь [7], Шан Сіншєн, Фу Сінсі, Ма Чжунгуй, Ло Фен [8], Жун Тан, Хулінь Чжай [9], Томар Абхішек, Гупта Гаурав, Рана Критика, Бхатія Сурбхі [10], Лей Нін [11], Коу Чжен, Чжан Ман [12], С. Арун, Кумарі Каміні, К. Аріважаган, Бехера Мапср Хіманшу [13], Міліч Домініка, Дуйменович Ірена, Пеко Марина [14] та інших.

Однак незважаючи на масштабність наукових досліджень питання застосування технологій Інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві не викликає сумнівів.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження принципів застосування технологій Інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві.

Викладення основного матеріалу дослідження. Електронна торгівля свіжими продуктами означає використання електронної комерції для прямого продажу свіжих продуктів в Інтернеті. До свіжих продуктів відносяться свіжі овочі та фрукти. Ринок електронної торгівлі свіжими продуктами харчування має величезний потенціал. Він має велику базу псевдонімів, його частка на ринку низька, і його можливості для вдосконалення очевидні.

Електронна торгівля свіжими продуктами оптимізує ланцюг поставок, забезпечує логістику холодного ланцюга, підвищує прозорість інформації та доставляє свіжі продукти споживачам ефективно та прозоро. Логістика холодового ланцюга сільськогосподарської продукції за своєю суттю являє собою те, що свіжі сільськогосподарські продукти, такі як м'ясо, птиця, водні продукти, фрукти, овочі, яйця тощо, зібрані з місця виробництва, а потім перероблені. Зберігання, транспортування, розповсюдження, роздрібна торгівля та інші ланки завжди знаходяться у відповідному середовищі з низьким температурним контролем, щоб максимально забезпечити якість продукції та безпеку якості, зменшити втрати та запобігти забрудненню. Логістика холодового ланцюга свіжої сільськогосподарської продукції є системним проектом, який потребує підтримки виробників продукції або кооперативів, сільськогосподарських асоціацій,

дистриб'юторів тощо, є логістикою холодового ланцюга всього ланцюга поставок від сільськогосподарських угідь до споживачів.

Першочерговим завданням є забезпечення якості сільськогосподарської продукції.

Особливості електронної комерції та швидкопсувний характер свіжої сільськогосподарської продукції визначають, що логістика та транспортування свіжої сільськогосподарської продукції відрізняються від загальної логістики. Порівняно з покупками овочів у фізичних магазинах на ринку, електронна комерція зовсім інша через її віртуальний характер. Споживачі, які замовляють свіжі сільськогосподарські продукти, такі як овочі та фрукти в Інтернеті, невидимі та невідчутні. Вони вперше споживають. Придбати товар можна лише через деталі опису продукту або оцінку, тому перший споживчий досвід дуже важливий, залежно від якості самих сільськогосподарських продуктів. Від сільськогосподарської продукції на полях до споживачів, у всій цій ланці ланцюга постачання використовується візуальна система управління інформацією електронної комерції, щоб забезпечити контрольований стан якості продукції. Це дуже допомагає споживачам у створенні інформації про покупки в Інтернеті.

Через те, що товари швидко псуються, термін зберігання свіжих сільськогосподарських продуктів є відносно коротким. Люди при покупці звертають увагу на те, чи свіжі продукти. Потрібна швидка та своєчасна логістика та розподіл, а час роботи процесу постачання свіжої продукції має бути мінімальним. Свіжість продукту може бути гарантована, тим самим підвищуючи задоволеність клієнтів і досвід. Крім того, поточні цільові клієнти електронної торгівлі свіжою сільськогосподарською продукцією – це в основному офісні працівники, і їх час отримання значно обмежений, що висуває вищі вимоги до логістики та розподілу сільськогосподарської продукції. Цю проблему вирішують і підприємства.

З огляду на специфіку транспортування вантажів, технологія зберігання, пакування, транспортування та інші ланки безпосередньо впливатимуть на якість свіжої продукції. Багато свіжих сільськогосподарських продуктів мають високий вміст води та короткий період зберігання. Тому в логістичній системі холодового ланцюга необхідно використовувати спеціальні рефрижераторні транспортні засоби. Оскільки інструменти для транспортування спеціально виготовлені відповідно до характеристик вантажу, вони повинні бути відповідно обладнані складами для зберігання при низькій температурі, ящиками для консервування харчових продуктів і рефрижераторами. Таким чином, технологія транспортування та обладнання обмежені жорсткими умовами, безпосередньо пов'язаними зі свіжістю продуктів, щоб свіжість продуктів могла підтримуватися під час процесу транспортування.

Точки споживання домогосподарств розкидані географічно, наприклад по місту, що призводить до максимізації точок розподілу та ускладнює розподіл. На відміну від традиційного розподілу дистриб'юторів харчових продуктів у великі супермаркети та ринки, ці точки логістики розосереджені, обсяг доставки великий, вартість відносно низька, а логістичний маршрут легко спланувати. Незважаючи на вищезазначені проблеми, розподіл сільськогосподарської продукції в рамках електронної комерції дійсно скорочує багато зв'язків обігу та підвищує ефективність порівняно з традиційною моделлю.

Застосування Інтернету речей на різних етапах логістики холодового ланцюга електронної комерції свіжих продуктів харчування сільськогосподарської продукції є економічно виправданим.

Свіжа сільськогосподарська продукція має ознаки швидкопсувності та обов'язковості врахування термінів доставки. Таким чином, у основних зв'язках виробництва, зберігання, транспортування та продажу, включених до логістики холодового ланцюга, Інтернет речей використовується для оптимізації системи логістики холодового ланцюга свіжих сільськогосподарських продуктів протягом усього процесу. Інтернет речей використовується в логістичній транспортній системі холодового ланцюга сільськогосподарської продукції для реалізації всього процесу візуалізації логістичного транспортування холодного ланцюга для підвищення ефективності транспортування та забезпечення логістичної системи холодового ланцюга.

Оскільки першочерговий етап обробки сільськогосподарської продукції знаходиться далеко від споживачів, електронна торгівля свіжими продуктами харчування та споживачі часто не звертають уваги на його роль у ланцюжку постачання, що призводить до нескінченної петлі надмірних інвестицій в останній етап. Перший етап має велике значення у всьому ланцюжку поставок. Запроваджуючи комплексну систему управління якістю, попередній контроль робиться

таким чином, щоб ефект контролю та економія коштів значно покращилися порівняно з постконтролем, а також реалізується повне управління – оптимізація системи. Температура свіжої сільськогосподарської продукції швидко знижується до оптимальної температури зберігання після збору, що називається попереднім охолодженням на виробництві. Попереднє охолодження на місці виробництва може ефективно зберегти свіжість продукту та подовжити термін придатності, зменшивши його втрати в процесі обігу. У реальному бізнесі, оскільки деякі компанії побоюються, що ця ланка збільшить вартість логістики холодового ланцюга, майже 80% сільськогосподарської продукції потрапляє в ланку обігу безпосередньо без попереднього охолодження.

Завдяки застосуванню Інтернету речей сільськогосподарські продукти можна попередньо охолоджувати одразу після збирання, щоб контролювати весь процес, щоб можна було ефективно зменшити втрати сільськогосподарської продукції. Сучасні технології попереднього охолодження в основному включають попереднє охолодження холодного зберігання, попереднє охолодження льодом, попереднє охолодження повітрям, попереднє охолодження водою, попереднє охолодження у вакуумі тощо. Серед них технологія попереднього охолодження у вакуумі є найбільш поширеною. Ця технологія дозволяє швидко випаровувати воду в умовах вакууму, ефективно забезпечуючи свіжість і якість продукту. Основне призначення цієї технології – швидке охолодження продукту до заданої температури, подальша обробка, зберігання, транспортування та реалізація.

Після попереднього охолодження сільськогосподарських продуктів їх термін придатності, свіжість, тощо буде довшим, ніж до попереднього охолодження. Відповідне пакування свіжих сільськогосподарських продуктів після попереднього охолодження є незамінним, особливо для електронної комерції свіжих продуктів, яка вимагає легкого, швидкого та простого пакування продуктів, а також може зберігати свіжість протягом тривалого часу. Серед багатьох методів упаковки упаковка в модифікованій атмосфері може ефективно задовольнити конкретні вимоги компаній електронної торгівлі свіжими продуктами

Під час попереднього охолодження на місці виробництва, обробки та пакування необхідно збирати різну інформацію про сільськогосподарську продукцію, включаючи інформацію про місце походження, інформацію про продукт, інформацію про упаковку та інформацію про фермера. Зібрані дані є виробничими файлами, що завантажуються в інформаційну систему виробничого підприємства для полегшення подальших запитів щодо інформації про продукт. Інформацію можна передавати в режимі реального часу, щоб можна було відстежувати весь процес збору врожаю та попереднього охолодження в режимі реального часу, а також завершити процес збору інформації та відстеження на цьому етапі, як показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Збір інформації та обладнання на етапі збору врожаю

Посилання	Збір даних	Необхідні Інтернет-технології
Збір	Інспекційні дані збору	Електронна мітка та зчитувач «RFID»
	Інформація про свіжу сільськогосподарську продукцію «RFID»	
Попереднє охолодження	Інформація про температуру	Датчик температури
Обробка та пакування	Пакувальні матеріали, час обробки, робочий персонал та інша інформація	Електронна мітка та зчитувач «RFID»

Розподіл свіжої сільськогосподарської продукції значно відрізняється від звичайних продуктів. Обмеження традиційної логістичної дистрибуції в основному відображаються в поганому зв'язку між різними ланками дистрибуції, неможливості досягти ефективного збору інформації та низьких можливостях взаємодії, а також нездатності вчасно зрозуміти середовище транспортування товарів у дорозі, що може легко призвести до вищого рівня пошкодження вантажу. Це спричиняє забрудненню харчових продуктів, що впливає на якість сільськогосподарської продукції, серйозно загрожує безпеці споживачів і призводить до низького рівня задоволеності клієнтів. Таким чином, ключовим питанням, яке необхідно терміново вирішити в процесі розвитку електронної комерції свіжих продуктів, є реалізація всього холодового ланцюга транспортування сільськогосподарської продукції. З точки зору майбутньої тенденції розвитку Інтернет-технологій,

побудова інформаційної системи запитів щодо відстеження холодового ланцюга є ключовою ланкою в реалізації Інтернет-технології в логістиці та транспортуванні холодового ланцюга.

Удосконалення моніторингу всього процесу допоможе уряду та відповідним департаментам, електронній торгівлі свіжими продуктами харчування, підприємствам з переробки сільськогосподарської продукції, логістичній галузі холодового ланцюга та споживачам виявляти, контролювати та контролювати логістичну діяльність сільськогосподарської продукції.

Щоб побудувати систему запитів щодо відстеження логістики холодового ланцюга за допомогою Інтернету речей, датчики температури та вологості повинні бути встановлені в усіх напрямках рефрижератора, щоб він міг точно збирати інформацію в рефрижераторі та сканувати упаковку продукту за допомогою «RFID». Етикетка «Температура та вологість» (радіочастотна ідентифікація) може постійно контролювати температуру та вологість товару. Ця інформація не тільки буде передана на комп'ютер або термінал мобільного телефону в кабіні, але також різні відстежувані дані будуть передані назад до віддаленого центру моніторингу через метод бездротового зв'язку «GPRS» (Загальна служба пакетної радіопередачі).

Моніторинг температури та вологості рефрижераторної вантажівки в режимі реального часу, при виникненні різних несподіваних ситуацій система негайно видасть сигнал тривоги та негайно повідомить водія, щоб прийняти відповідні оперативні заходи, які можуть уникнути всіляких непотрібних втрат у часі. Крім того, система позиціонування та відстеження «GPS» (Global Positioning System) встановлена на рефрижераторному транспортному засобі, щоб отримати точне місцезнаходження, номер групи транспортного засобу, робочий стан і дорожні умови в реальному часі для визначення місцезнаходження та відстеження транспортного засобу, щоб переконатися, що він прибув вчасно. Нарешті, на вантажівку-рефрижератор можна встановити систему «GIS» (геоінформаційна система). За допомогою бездротової передачі можна відстежувати місцезнаходження автомобіля в режимі реального часу, а відповідні дані можна передавати в центр моніторингу в режимі реального часу.

Наданий людино-машинний інтерфейс є графічним і доступним для роботи. Таким чином, він може стежити за різними транспортними засобами в режимі реального часу, збільшувати та зменшувати масштаб за потреби та точно відображати місцезнаходження транспортних засобів у реальному часі. За технологією системи «GIS» в режимі реального часу можна відслідковувати стан руху по всій дорозі. Потім для розрахунку можна отримати інформацію та дані, такі як вантажопідйомність транспортного засобу, розмір типу транспортного засобу, місце доставки, адреса клієнта та дорожні умови в реальному часі. Завдяки швидкій обробці даних він може автоматично вибирати оптимальний маршрут розподілу, спрямовувати потік вантажів, покращувати ефективність транспортування та зменшувати витрати на логістику. Конкретний процес показаний на рис. 1.

Етап продажу є останнім у логістиці холодового ланцюга свіжих сільськогосподарських продуктів електронної комерції, а також єдиною ланкою, де споживачі безпосередньо контактують із продуктом. Споживачі використовуватимуть різні методи, щоб перевірити, чи є продукція свіжою чи зіпсованою. Якщо ланцюг продажів розірветься, це вплине на якість продукту та істотно знизить репутацію продавця. Тому все ще необхідно контролювати його якість і дані зворотного зв'язку на завершальному етапі, щоб створити повну систему відстеження від виробництва до продажу. Збутова ланка не існує ізольовано, а тісно пов'язана з виробництвом і обробкою, складуванням, транспортуванням і розподілом свіжої сільськогосподарської продукції в логістиці холодового ланцюга. На етапі продажу свіжої сільськогосподарської продукції продавці повинні перевірити, чи температура охолодження в рефрижераторному транспортному засобі відповідає стандарту температури транспортування, встановленому для транспортованого продукту, і перевірити, чи відповідає основна інформація про партію продуктів.

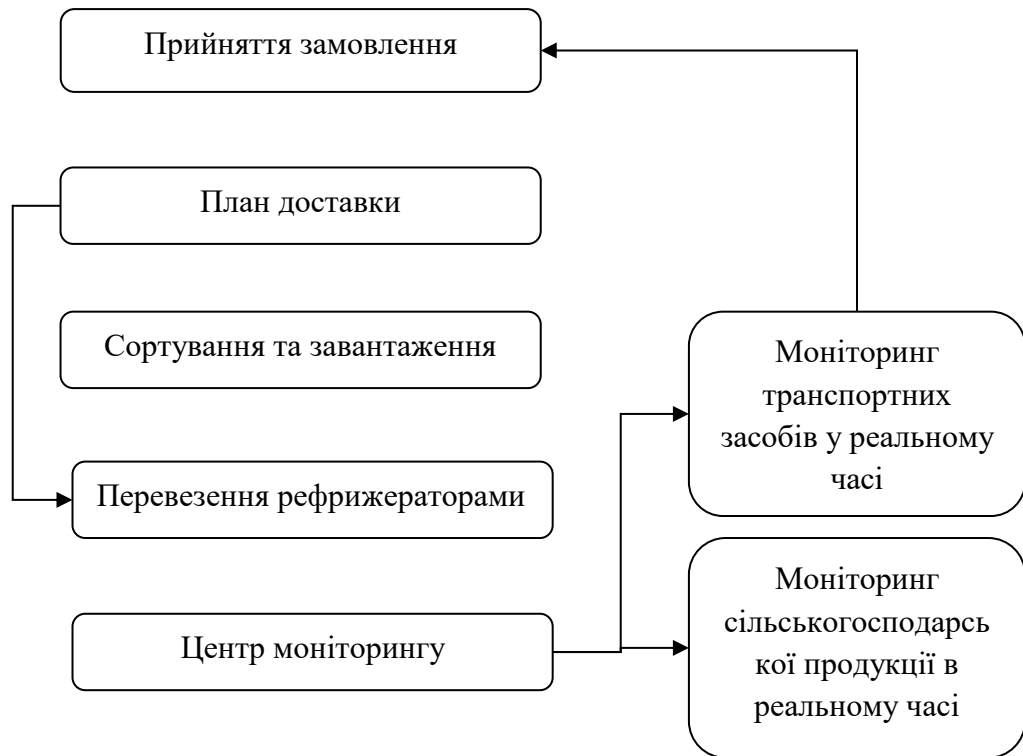


Рис. 1. Логістика холодового ланцюга та процес розподілу сільськогосподарської продукції на основі Інтернету речей

Електронні мітки «RFID» на упаковці продукту перетворюються на штрих-коди або двовимірні коди, що зручно для клієнтів, щоб запитувати інформацію про продукт через мобільні телефони та інші термінали. Після завершення продажу споживачі можуть використовувати мобільні телефони та інші термінали, щоб надіслати після продажну інформацію на веб-сайт продавця або в інформаційний центр Інтернету речей холодового ланцюга. Центр моніторингу може вносити покращення на основі інформації, отриманої після продажу.

Висновки. У роботі досліджено принципи застосування технологій Інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві. Впровадження Інтернету речей у логістику холодового ланцюга та транспортування свіжої сільськогосподарської продукції може покращити рівень логістики холодового ланцюга та транспортування свіжої сільськогосподарської продукції. Прискорення розвитку логістики холодового ланцюга може подовжити термін придатності та термін реалізації сільськогосподарської продукції та зменшити рівень втрат при транспортуванні сільськогосподарської продукції, забезпечуючи при цьому якість продукції, тим самим зменшуючи витрати на логістику та забезпечення економічної вигоди від електронної торгівлі свіжими продуктами харчування. Завдяки використанню мережевих технологій у логістиці холодового ланцюга сільськогосподарської продукції на цій основі будується Інтернет-інформаційна система холодового ланцюга, орієнтована на бізнес-процеси, яка надає довідкові відомості про те, як реалізувати високошвидкісну та ефективну логістику холодового ланцюга для транспортування свіжих продуктів. З наведеного вище дослідження можна стверджувати, що використання Інтернет-технологій у логістиці холодового ланцюга свіжої сільськогосподарської продукції може сприяти підвищенню ефективності роботи логістики холодового ланцюга та реалізувати весь процес візуального моніторингу та відстеження. Враховуючи особливості свіжої сільськогосподарської продукції, у застосуванні Інтернет-технологій весь процес включає збір врожаю, попереднє охолодження продукту, обробку та пакування, транспортування холодового ланцюга та етапи продажу, які поєднуються з моделлю трирівневої архітектури Інтернету речей, заснованою на основі побудови бізнес-процесів логістики холодового ланцюга, що зрештою призведе до формування системи архітектури холодового ланцюга Інтернету речей.

Подальші дослідження ґрунтуються на формуванні системи архітектури холодового ланцюга Інтернету речей для оптимізації логістики в сільському господарстві.

Список бібліографічного опису

1. Щербаков О. В. Інтернет речей: перспективи застосування дома та на підприємстві. *Матеріали конференції KIT-2022*, Харків, ХНАДУ, 2022. С. 120-124.
2. Яремко С., Кузьміна О. Напрямки розвитку Інтернету речей в системах управління складними пристроями. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2023. № 1, С. 149-153. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-314-1-22>
3. Пиріг Ю. В., Кайдан М. В., Гордійчук-Бублівська О. В. Аналіз концепції інтернету речей та динаміки її розвитку у різних галузях. *Вісник Університету «Україна»*. 2020. № 1 (24). С. 171-185.
4. Бондар О. С. Ткаченко О.В. Вплив діджиталізації на сталий розвиток логістики в Україні. *«Аграрна освіта та наука: досягнення, роль, фактори росту: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції»*, Біла Церква, 20 жовтня 2022 року. Біла Церква, 2022. С. 12-14.

References

5. Lin Rui. (2022). Analysis on the Application of Intelligent Data Analysis Technology of Internet of Things in E-Commerce System. 10.1007/978-3-030-89511-2_34.
6. Li Fang, Li Tao. (2022). Intelligent Logistics Enterprise Management Based on the Internet of Things. *Mathematical Problems in Engineering*. 2022. 1-7. 10.1155/2022/1621082.
7. Li Xiaomin, Hou Bingfa, Zhang Rihong, Liu Yongxin. (2023). A Review of RGB Image-based Internet of Things in Smart Agriculture. *IEEE Sensors Journal*. PP. 1-1. 10.1109/JSEN.2023.3309774.
8. Shang Xinsheng, Fu Xixi, Ma Zhonggui, Luo Feng. (2013). The architecture and key technologies of internet of things in logistics. *IET Conference Publications*. 2013. 464-468. 10.1049/cp.2013.2173.
9. Rong Tan, Hulin Zhai. (2021). Construction of Intelligent Logistics System Based on Internet of Things Technology. *Journal of Physics: Conference Series*. 1883. 012095. 10.1088/1742-6596/1883/1/012095.
10. Tomar Abhishek, Gupta Gaurav, Rana Kritika, Bhatia Surbhi. (2023). Revolution in Agriculture with the Aid of Internet of Things. 10.1007/978-981-99-1479-1_6.
11. Lei Ning. (2021). Intelligent logistics scheduling model and algorithm based on Internet of Things technology. *Alexandria Engineering Journal*. 61. 10.1016/j.aej.2021.04.075.
12. Kou Zheng, Zhang Man. (2021). LRP Model and Algorithm of Expressway Logistics Network Planning Based on Internet of Things. *Mobile Information Systems*. 2021. 1-12. 10.1155/2021/5648330.
13. S. Arun, Kumari Kamini, K. Arivazhagan, Behera Mapsr Himanshu. (2023). Impact of artificial intelligence and internet of things in agriculture.
14. Milić Dominika, Dujmenović Irena, Peko Marina. (2023). An Approach to the Application of the Internet of Things in Logistics. *Tehnički glasnik*. 17. 134-140. 10.31803/tg-20220609190233.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-03>

УДК: 528.4:631.4-027.44

Ліхва Наталія Володимирівна, старший викладач<https://orcid.org/0000-0001-6656-5766>**Стадніков Володимир Васильович**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-2479-9780>**Колосюк Анатолій Анатолійович**, к.е.н., доцент<https://orcid.org/0000-0001-7220-4772>**Константінова Олена Вікторівна**, к.е.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-9336-9215>

Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО СТВОРЕННЯ І ОНОВЛЕННЯ ЦИФРОВИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ

Ліхва Н.В., Стадніков В.В., Колосюк А.А., Константінова О.В. Дослідження можливостей геоінформаційних технологій для автоматизованого створення і оновлення цифрових топографічних планів. Мета цієї роботи – проаналізувати можливості ГІС-інструментарію для автоматизації процесів створення та оновлення цифрових топографічних планів. Методика дослідження базується на комплексному аналізі можливостей застосування ГІС та націлена на визначення найбільш ефективних рішень щодо автоматизації роботи з цифровими топографічними планами. Задіяні загальнонаукові та спеціальні методи дослідження, обумовлені загальною метою та локальними завданнями. **Результати.** Був проаналізований досвід використання ГІС для автоматизації процесів створення та оновлення цифрових топографічних планів. Визначені характеристики та особливості застосування інструментарію ГІС. Розроблені питання комплексного підходу до роботи з цифровими топографічними планами з метою уніфікації всіх процесів та отримання якісних результатів. Розглянута система ArcGIS як одна з найбільш поширених у професійній сфері, оскільки вона відповідає сучасним вимогам ведення робіт у цифровій картографії. Запропонований алгоритм застосування актуальних ГІС для роботи з цифровими топографічними планами, продемонстровані можливості використання різних джерел даних для створення, подальшої деталізації та оновлення топографічних планів. **Наукова новизна та практична значущість.** В роботі систематизовані можливості ГІС стосовно їх використання для автоматичного створення та оновлення цифрових топографічних планів. **Висновки.** З метою підвищення якості та економічності процесів оновлення топографічних карт було запропоновано використання ГІС-технологій. В даному випадку вони є універсальними щодо опрацювання різних наборів інформації, що спрощує подальшу роботу, дозволяючи вносити нові дані на регулярній основі навіть у процесі користування картою. Для швидкого отримання нових даних використовуються методи аерофото- та космічної зйомки. Їх обробка та інтеграція в існуючу цифрову карту виконується за допомогою інструментів ГІС. Базова цифрова карта готується на основі векторизації карт попередніх років. Актуальним в цьому процесі є створення еталонної моделі бази топографічних даних (у відповідності до міжнародних стандартів ISO 19100). Інструменти ГІС дозволяють працювати з цифровою основою, вносити в неї корективи за даними актуальної зйомки. Було визначено максимальну ефективність середовища ArcGIS для оновлення топографічних карт.

Результати роботи можуть бути використані в практичній діяльності землеустрою та міського управління, кадастровому обліку, туристичній діяльності, у транспортній, аграрній, видобувній та інших галузях виробництва.

Ключові слова: геоінформаційні системи (ГІС), дані дистанційного зондування, ArcGIS, геодезія, цифрова картографія.

Likhva N., Stadnikov V., Kolosyuk A., Konstantinova O. Research of the possibilities of geo-information systems for the automated creation and update of digital topographic plans. The purpose of this work is to analyze the capabilities of GIS tools for automating the processes of creating and updating digital topographic plans. The research methodology is based on a comprehensive analysis of GIS application possibilities and is aimed at determining the most effective solutions for automating work with digital topographic plans. General scientific and special research methods are used, determined by the general goal and local tasks. **The results.** The experience of using GIS to automate the processes of creating and updating digital topoplans was analyzed. The characteristics and features of the use of GIS tools are defined. Issues of a comprehensive approach to working with digital topoplans have been developed in order to unify all processes and obtain quality results. The ArcGIS system is considered as one of the most common in the professional sphere, as it meets the modern requirements of conducting work in digital cartography. The proposed algorithm for using current GIS for working with digital topoplans, the possibilities of using various data sources for creating, further detailing and updating topographic plans are demonstrated. **Scientific novelty and practical significance.** The work systematizes the possibilities of GIS in relation to their use for automatic creation and updating of digital topoplans. **Conclusions.** In order to improve the quality and cost-effectiveness of topographic map updating processes, the use of GIS technologies was proposed. In this case, they are universal in processing different sets of information, which simplifies further work, allowing to enter new data on a regular basis even in the process of using the card. Aerial and space survey methods are used to quickly obtain new data. Their processing and integration into the existing digital map is carried out with the help of GI tools. The basic digital map is prepared on the basis of vectorization of maps of previous years. The creation of a reference model of the topographic data base (in accordance with international standards ISO 19100) is relevant in this process. GIS tools allow you to work with a digital basis, make corrections to it based on actual survey data. The maximum efficiency of the ArcGIS environment for updating topographic maps was determined.

The results of the work can be used in the practical activities of land management and city management, cadastral accounting, tourism activities, in transport, agrarian, mining and other industries.

Keywords: geographic information systems (GIS), three-dimensional modeling, laser scanning, remote sensing data, ArcGIS, geodesy, digital cartography.

Вступ. У сучасному світі активно впроваджується використання нових геоінформаційних технологій у більшості наукових галузей. Загальна інформатизація і комп'ютеризація обумовила необхідність створення цифрових моделей різних об'єктів і явищ. Останнім часом значно змінилися методи, технології та засоби збирання, накопичення, зберігання топографо-геодезичних та картографічних матеріалів. На зміну традиційним топографічним планам прийшли цифрові топографічні карти та плани, які є оновленою версією друкованих копій, що було створено у 1960-2010 рр. Процес переведення в цифрову форму розпочався не так давно, що обумовлює актуальність дослідження. При створенні цифрових топографічних карт розрізняють дві процедури: створення «з нуля» та оновлення. Топографічна ситуація постійно змінюється, що потребує оперативного оновлення топографічних планів та карт.

Обробка топографічних матеріалів є доволі трудомістким процесом. Основними недоліками традиційних методів створення топографічних планів є величезні часові витрати, значні витрати засобів виробництва, необхідність залучення великої кількості кваліфікованих фахівців. Саме тому в даний час на зміну традиційним способам створення картографічної продукції прийшов процес автоматизації, побудований на використанні різних геоінформаційних технологій. Створення та оновлення топографічних карт виконується за чітко зазначеною в українському законодавстві процедурою на основі аерофото- та космічної зйомки місцевості [Закон України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність», 1998; Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» 2020; Класифікатор інформації, 1998; Основні положення, 1999; Постанова Кабінету Міністрів України, 2013]. Для швидкої обробки результатів використовуються деякі ГІС інструменти та функції автоматизації [Карпінський та ін., 2006].

В спеціальній літературі можна виділити кілька основних напрямків досліджень у рамках обраної тематики.

Становлять інтерес публікації, що стосуються прикладних моментів застосування геоінформаційних технологій у вузьких галузях діяльності, таких як міське планування та управління, кадастрова система, агропромисловий комплекс, будівництво, військова сфера [Карпінський та ін., 2019; Зубков, 2019; Дутчин та ін., 2019; Ліхва та ін., 2022; Луньова та ін., 2019; Стадніков В. та ін., 2023].

Окремо можна виділити дослідження, спрямовані на використання різних технологій отримання даних для створення ГІС. Автори опрацьовують методики дистанційного зондування за допомогою сучасної техніки, обробку отриманих матеріалів, можливості уніфікації всіх процесів [Артемов та ін., 2020; Карпінський та ін., 2018; Карпінський та ін., 2019; Луньова та ін., 2019; Лазоренко-Гевель Н. та ін., 2021; Стаднікова Н.В. та ін., 2021; Karpinskyi Yu. et al., 2020; Lazorenko-Nevel N. et al., 2017].

Дослідження показало, що найменш вивченими є питання, пов'язані з можливостями оперативного оновлення інформації на топографічних планах та картах, що є наразі дуже актуальним у зв'язку зі швидкістю зміни реальної ситуації.

Мета. Метою цієї роботи є визначення особливостей використання інструментів ГІС для автоматизованого створення та оновлення цифрових топографічних планів.

Методика. Методика дослідження побудована на комплексному аналізі можливостей геоінформаційних систем для автоматизації процесів створення та оновлення цифрових топографічних планів. Описаний актуальний інструментарій ГІС, визначені особливості його застосування для отримання максимального ефекту – спрощення та прискорення всіх технологічних процесів, забезпечення якості кінцевого результату. Додатково досліджена можливість введення інновацій з появою нових розробок в цій галузі знань.

Результати. Вимоги до створення топографічних карт та планів поступово змінюються та розвиваються, що впливає на необхідність підвищення рівня якості та стандартів у процесі їх виготовлення [Karpinskyi Yu. et al., 2020]. Цифрові методи виробництва картографічних матеріалів на відміну методів, що застосовувались раніше, дозволили автоматизувати величезний обсяг трудомістких процесів розробки та оновлення цифрових топографічних карт:

- автоматичне відновлення стереомоделі за результатами вирівнювання фотограмметричної мережі;
- автоматичне формування та графічне відображення об'єктів з використанням картографічних шаблонів для всього масштабного ряду;
- автоматизація процесів контролю якості створюваних карт;
- автоматичне ототожнення точок на етапах внутрішнього, взаємного та зовнішнього орієнтування знімків фотограмметричного блоку та окремої стереопари;
- автоматична побудова цифрової моделі рельєфу по регулярній та нерегулярній сітці, а також по горизонталям;
- автоматична побудова горизонталей із заданим перерізом рельєфу, а також побудова додаткових горизонталей.

Програмне забезпечення ArcGIS може бути використано як інструмент для обробки даних, аналізу топографічних карт і формування цілісних геопросторових даних за допомогою сукупних методів.

Перед початком робіт створюється цифрова основа для побудови топографічних карт. Для цього використовують:

1. Вихідні картографічні матеріали 1960-2010 рр. – виконують сканування діапозитивів постійного зберігання (ДПЗ), з яких друкують паперові карти, з роздільною здатністю близько 800 dpi, далі за растровими зображеннями створюють цифрову карту. Ця технологія дозволяє векторизувати більшу частину змісту карти в автоматичному режимі, тому що ДПЗ представляють собою розділені за вмістом карти (рельєф, гідрографія, заливка лісу та гідрографії, контур) та поєднані. Цю технологію використовують для масштабів 1:10000 - 1:1000000.

2. Матеріали наземних зйомок: тахеометрична зйомка - зазвичай це невеликі за розмірами ділянки, зйомку яких доцільно виконати польовим способом. Далі на сканері, що дозволяє сканувати картографічні матеріали на жорсткій основі, скануються матеріали наземної зйомки, робиться прив'язка та векторизація растрів.

3. Стереотопографічний метод - карта створюється «з нуля», так само як і її актуалізація (оновлення), що означає зведення до мінімуму польових робіт, оскільки практично всі процедури проводяться в камеральних умовах, що робить цикл створення топографічної карти більш економічним.

Застосування цифрових методів зберігає традиційну триетапність процесу оновлення топографічних карт та планів: створення топографічної основи за матеріалами нової аерофотозйомки у вигляді цифрового ортофотоплана; накладання попередньо відсканованої та векторизованої карти на растрове фотозображення фотоплану (проведення векторизації за растровим зображенням фотоплану нових об'єктів, коригування існуючих та виявлення втрачених); остаточне нанесення об'єктів, що оновлюються і видалення втрачених об'єктів з оновлюваної карти (рис. 1).

Оновлення (або створення «з нуля») цифрових топографічних карт передбачає виконання таких основних етапів робіт:

Етап 1.

1.1. Збирання довідкових, додаткових даних і матеріалів.

1.2. Підготовка довідкових, додаткових даних і матеріалів.

Етап 2.

2.1. Створення еталонної моделі цифрових топографічних карт.

2.2. Векторизація (оновлення) цифрових топографічних карт відповідно до визначеної методології.

Етап 3.

3.1. Багаторівнева система перевірок якості векторизації, перегляд картографічними редакторами, виправлення помилок.

3.2. Оцінка точності кожного номенклатурного аркуша.

3.3. Зведення суміжних номенклатурних аркушів, створення єдиної бази даних.

3.4. Передача бази даних до Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру для подальшого використання та друку тиражних відбитків.

Сучасні цифрові технології оновлення карт базуються на тих же технічних засобах, що використовуються й для їх створення.

Оновлення цифрової топографічної карти виконується за стереопарам знімків, одиночними знімками, ортофотопланами.

З урахуванням специфіки отримання та обробки космічних зображень найбільш ефективно з їх допомогою вирішується завдання оновлення контурної частини карти. Технологію оновлення електронної карти за знімками високої роздільної здатності передбачає наступні етапи: аналіз характеру змін карти, що оновлюється, за космічними зображеннями; згущення опорної мережі для трансформування знімків та аналізу точності космічних знімків; трансформування космічних знімків по опорних геодезичних точках; дешифрування космічних знімків при оновленні топографічних планів масштабу 1:2000-1:5000; польове обстеження; перенесення змін із космічних знімків на електронну карту; редагування та оформлення упорядницького оригіналу.

У процесі оновлення контурна частина карти приводиться у повну відповідність до нових знімків. Процес оновлення зводиться до трьох видів робіт: вилучення з бази даних відсутніх на знімках об'єктів; включення до бази новостворених об'єктів; внесення змін до семантики.

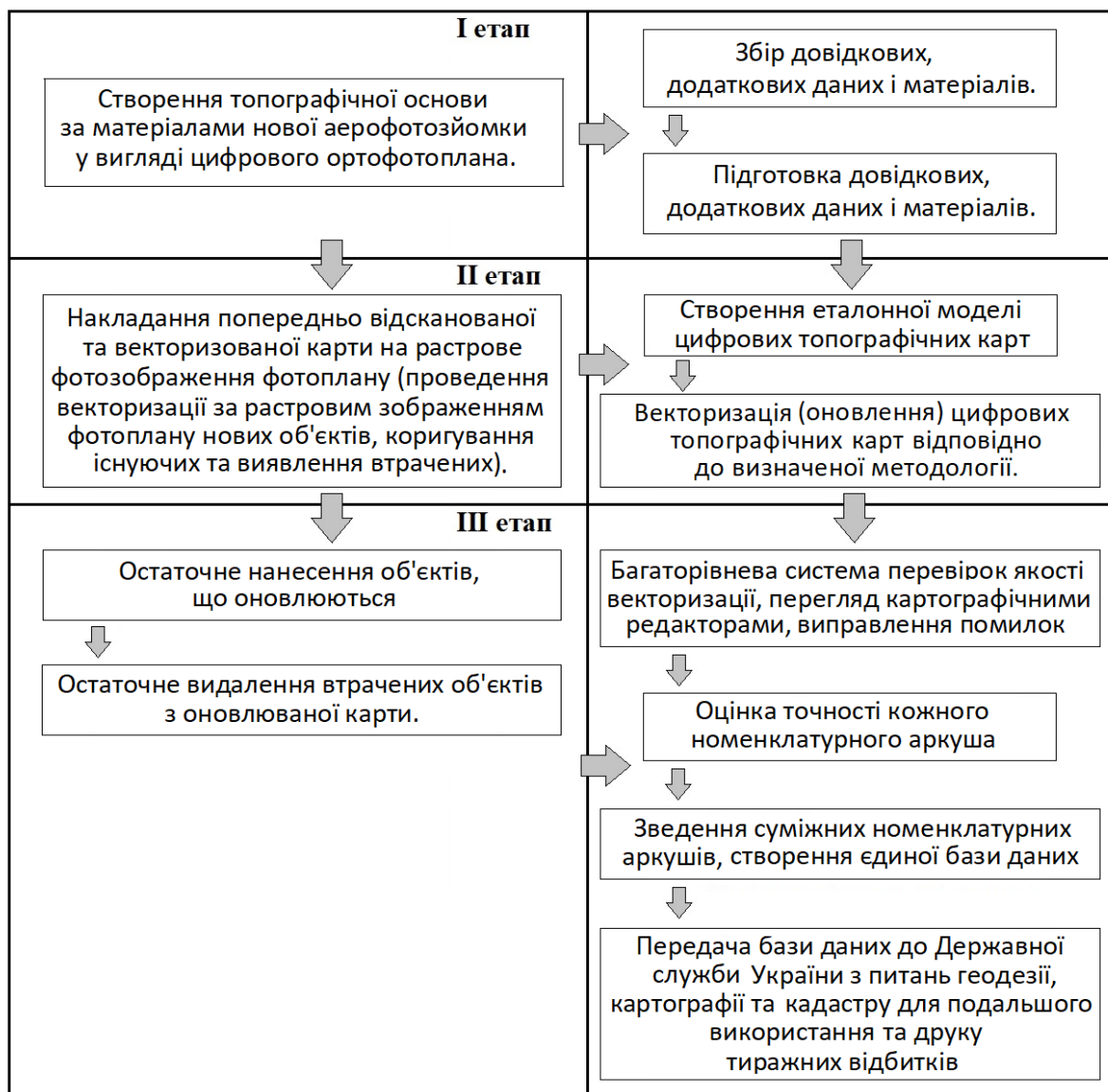


Рис. 1. Процес оновлення топографічних карт та планів.

У процесі редагування виконується зведення контурів та горизонталей, зміна семантичних кодів, присвоєння об'єктам необхідних характеристик, умовних знаків. При редагуванні використовуються різні допоміжні функції: перегляд по шарах, копіювання або видалення об'єктів, автоматичне стикування об'єктів з різних цифрових фотопланів, виділення оригіналу тощо. Перевагою цифрових технологій оновлення карт та планів перед традиційними є високий рівень автоматизації всіх етапів оновлення, висока продуктивність.

Редагування топології (оцифрування з використанням геометрії багатокутників) є важливим моментом у роботі зі створення та оновлення топографічних карт. Багато програм ГІС надають інструменти для топологічного редагування, ArcGIS в цьому плані також не є винятком. Тут інструменти для топологічного редагування призначені для покращення результатів редагування та підтримки загальних меж у полігональних шарах. ArcGIS «виявляє» спільну межу на карті багатокутника, тому потрібно перемістити лише верхівку краю для однієї межі багатокутника, щоб забезпечити оновлення інших меж полігону. Інша топологічна опція дозволяє запобігти накладенню полігонів під час оцифровки. Для застосування методології безшовної бази геоданих необхідними є інструменти додавання. Append — це інструмент, який може вводити кілька наборів даних в існуючий цільовий набір даних. Вхідними наборами даних можуть бути класи об'єктів точок, ліній або багатокутників, таблиці, растри, каталоги растрів, класи об'єктів анотації або класи об'єктів розмірів.

Після завершення процесу векторизації необхідно провести перевірку вихідної ідентифікації інформації. Це обумовлено потребою у наявності детальної інформації в процесі створення карти.

У цілісній базі даних об'єкти вважаються безперервними. Кожна функція бере участь у процесі керування географічними даними, вона відображається та розглядається як безперервна та унікальна.

Наукова новизна і практична значущість. В роботі проаналізовані можливості використання сучасних ГІС-технологій для створення та оновлення топографічних планів, що має важливе значення для практичної діяльності з актуалізації інформаційної бази картографічних даних у різних галузях людської діяльності. Процеси картографування значних територій є досить ресурсозатратними, тому застосування комплексної методики їх виконання дозволить зробити їх більш економічними.

Висновки. Останнім часом все більш зростає необхідність створення та оновлення топографічних карт, що відповідають сучасним вимогам та актуальному стану місцевості. В роботі підтверджено ефективність використання методів ГІС для даних робіт, розроблено загальний алгоритм виконання оновлення топографічної карти, що враховує всі особливості цього процесу.

В роботі розглянуті інструменти ГІС, що дозволяють автоматизувати процеси оновлення топографічних карт і планів на основі використання космічних та аерофотознімків. Оновлення цифрової топографічної карти виконується за стереопарам знімків, одиночними знімками, ортофотопланами. У процесі оновлення контурна частина карти приводиться у повну відповідність до нових знімків, що включає видалення з бази даних відсутніх на знімках об'єктів; включення до бази новостворених об'єктів; внесення змін до семантики.

Безперечно, наявність цифрового формату топографічної карти дозволяє зробити процес її оновлення майже автоматичним. Застосування методів цифрового картографування дозволяє отримати високу якість картографічного зображення, оперативність створення та оновлення, довготривалість зберігання, багаторазовість використання.

Розроблені питання комплексного підходу до роботи з цифровими топографічними картами з метою уніфікації всіх процесів та отримання якісних результатів. Розглянута система ArcGIS як одна з найбільш поширених у професійній сфері, оскільки вона відповідає сучасним вимогам ведення робіт у цифровій картографії.

Список бібліографічного опису

1. Артемов В., Мовчан Т., Бахчеван Е., Данько Т. (2020). Принципи цифрової трансформації і впровадження її в геодезії та землеустрої. *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*, 96, 129-138. DOI: 10.37000/ABBSL.2020.96.1
2. Закон України "Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність" від 23 грудня 1998 року № 353-XIV.
3. Закон України "Про національну інфраструктуру геопросторових даних" від 13 квітня 2020 року № 554-IX.

4. Зубков В.П. (2019). Топогеодезичне забезпечення як складова інформаційного забезпечення сил оборони України. *Воєнно-прикладні питання системного аналізу та математичного моделювання*, 116–121.
5. Карпінський Ю. О., Лященко А. А. (2006). Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні. К.: НДПГК, 108 с.: іл. (Сер. "Геодезія, картографія, кадастр").
6. Карпінський Ю. О., Лазоренко-Гевель Н. Ю. (2018). Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування. *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. праць*, І(35), 204–211. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://gki.com.ua/ua/metodi-zbirannja-geoprostorovih-danih-dlja-topografichnogo-kartografuvannja>.
7. Карпінський Ю. О., Лазоренко-Гевель Н. Ю. (2019). Архітектура державної топографічної карти. Всеукраїнська науково-практична конференція "Картографічне моделювання та географічні інформаційні системи" (3–5 жовтня 2019 року). Львів: Нац. ун-т "Львівська політехніка", 11–14.
8. Карпінський Ю., Кін Д. (2019). Дослідження картометричних операцій в середовищі ГІС. Тези доповідей «GEOFORUM'2019». 24-та міжнародна науково-технічна конференція, присвячена професійному святу працівників геології, геодезії і картографії України, 10–12 квітня 2019 р., Львів-Брюховичі-Яворів. Львів: Видавництво Львівської Політехніки, 14–16.
9. Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000 000: затверд. начальник Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України 1998 р. і погодж. з начальником Центрального топографічного управління Генерального штабу Збройних сил України.
10. Лазоренко-Гевель Н., Карпінський Ю., Кін Д. (2021). Особливості створення (оновлення) цифрових топографічних карт для формування основної державної топографічної карти. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, І (41), 113–122.
11. Ліхва Н.В., Стадніков В.В., Константинова О.В., Колосюк А.А. (2022). Застосування ARCGIS для створення топографічного плану М 1:2000. *Modern engineering and innovative technologies*, 20.
12. Луньова О.В., Буглак О.В. (2019). Методологічні засади застосування ортотрансформованих космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища та програмне забезпечення досліджень. *Український журнал дистанційного зондування землі*, 22, 27–34. DOI: 10.36023/UJRS.2019.22.155
13. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000: затвердж. наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України № 156 від 31.12.1999 р. і погодж. з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України.
14. Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування" від 4 вересня 2013 р. № 661.
15. Стаднікова Н.В., Колиханін С.П., Шишколова Н.Ю., Шаргар О.М., Ліхва А.М. (2021). Застосування сучасного програмного забезпечення DIGITALS для створення топографічного плану М 1:2000. *The International Scientific Periodical Journal SWorldJournal*, 8, 35–39.
16. Стадніков В., Ліхва Н., Константинова О. (2023). Сучасні технології геопросторового аналізу під час планування міської території. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр.*, І (45), 135–145.
17. Karpinskyi Yu., & Lazorenko-Hevel N. (2020). Topographic mapping in the National Spatial Data Infrastructure in Ukraine. E3S Web of Conferences. 171, 1–6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017102004>.
18. Lazorenko-Hevel N. & Kin D. (2019). The edge matching method of digital topographic maps in the scale of 1:50 000 for creation the main state topographic map. *Engineering Geodesy*, 67, 56–66. 10.32347/0130-6014.2019.67.56-66.

References

1. Artemov V., Movchan T., Bakhchevan E. & Danko T. (2020). Pryntsypy tsyfrovoyi transformatsii i vprovadzhennia yii v heodezii ta zemleustroi. (Principles of digital transformation and its implementation in geodesy and land management). *Agrarian Bulletin of the Black Sea Littoral*, 96, 129–138. DOI: 10.37000/ABBSL.2020.96.1
2. Zakon Ukrainy "Pro topografo-heodezychnu i kartohrafichnu diialnist" vid 23 hrudnia 1998 roku № 353-XIV (Law of Ukraine "On topographical, geodetic and cartographic activities").
3. Zakon Ukrainy "Pro natsionalnu infrastrukturu heoprostorovykh danykh" vid 13 kvitnia 2020 roku № 554-IX (Law of Ukraine "On the National Infrastructure of Geospatial Data").
4. Zubkov V.P. (2019). Topogeodezychne zabezpechennia yak skladova informatsiinoho zabezpechennia syl oborony Ukrainy (Topogeodetic support as a component of the information support of the defense forces of Ukraine). *Military-applied issues of system analysis and mathematical modeling*, 116–121.
5. Karpinskyi YU. & Kin D. (2019). Doslidzhennia kartometrychnykh operatsii v seredovishchi HIS (Study of cartometric operations in the GIS environment.). Tezy dopovidei «GEOFORUM2019». 24-ta mizhnarodna nauko-ve-tekhnichna konferentsiia, prysviachena profesiinomu sviatu pratsivnykiv heolohii, heodezii i kartohrafii Ukrainy, 10–12 kvitnia 2019 r., Lviv–Bryukhovychi–Yavoriv (Abstracts of "GEOFORUM2019" reports. The 24th international scientific and technical conference dedicated to the professional holiday of workers of geology, geodesy and cartography of Ukraine, April 10–12, 2019, Lviv–Bryukhovychi–Yavoriv.). Lviv: Lviv Polytechnic publishing house, 14–16.
6. Karpinskyi Yu., & Lazorenko-Hevel N. (2019). Arkhitektura derzhavnoi topografichnoi karty (Architecture of the state topographic map.). Vseukrainska nauko-ve-praktychna konferentsiia "Kartohrafichne modeliuvannia ta heohrafichni informatsiini systemy" (3–5 zhovtnia 2019 roku). Lviv: Nats. un-t "Lvivska politekhnika", 11–14.

7. Karpinskyi Yu., & Lazorenko-Hevel N. (2020). Topographic mapping in the National Spatial Data Infrastructure in Ukraine. E3S Web of Conferences, 171, 1-6. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017102004>.
8. Lazorenko-Hevel N., Karpinskyi YU. & Kin D. (2021). Osoblyvosti stvorennia (onovlennia) tsyfrovyykh topohrafichnykh kart dlia formuvannia osnovnoi derzhavnoi topohrafichnoi karty (Features of creating (updating) digital topographic maps for the formation of the main state topographic map). *Modern achievements of geodetic science and production*, I (41), 113-122.
9. Lazorenko-Hevel N. & Kin D. (2019). The edge matching method of digital topographic maps in the scale of 1:50 000 for creation the main state topographic map. *Engineering Geodesy*, 67, 56–66. 10.32347/0130-6014.2019.67.56-66.
10. Likhva N.V., Stadnikov V.V., Konstantinova O.V. & Kolosiuk A.A. (2022). Zastosuvannia arcgis dlia stvorennia topohrafichnoho planu M 1:2000. (Application of arcgis to create a topographic plan M 1:2000.). *Modern engineering and innovative technologies*, 20.
11. Lunova O.V. & Buhlak O.V. (2019). Metodolohichni zasady zastosuvannia ortotransformovanykh kosmichnykh znimkiv dlia otsinky stanu navkolyshnoho seredovyshcha ta prohramne zabezpechennia doslidzhen (Methodological principles of using orthotransformed space images to assess the state of the environment and research software.). *Ukrainian Journal of Earth Remote Sensing*, 22, 27–34. DOI: 10.36023/UJRS.2019.22.155
12. Stadnikova N.V., Kolykhanin S.P., Shyshkalova N.IU., Sharhar O.M. & Likhva A.M. (2021). Zastosuvannia suchasnoho prohramnoho zabezpechennia DIGITALS dlia stvorennia topohrafichnoho planu M 1:2000 (Application of modern DIGITALS software to create a topographic plan M 1:2000). *The International Scientific Periodical Journal SWorldJournal*, 8, 35-39.
13. Stadnikov V., Likhva N. & Konstantinova O. (2023). Suchasni tekhnolohii heoprostorovoho analizu pid chas planuvannia miskoi terytorii (Modern technologies of geospatial analysis during urban planning). *Modern achievements of geodetic science and production*, I (45), 135-145.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-04>

УДК: 004.415.53

Міскевич Оксана Іванівна, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-5009-2391>

Омельчук Дмитро Юрійович, бакалавр

Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна

РУЧНЕ ТА АВТОМАТИЗОВАНЕ ТЕСТУВАННЯ БЛОКЧЕЙНУ ЗА ДОПОМОГОЮ POSTMAN

Міскевич О.І., Омельчук Д.Ю. Ручне та автоматизоване тестування блокчейну за допомогою Postman.

Людство створило дуже велику кількість різноманітних винаходів для облегшення та покращення життя. З часом, винаходи стають все більш складними, так само і з їх тестуванням. Блокчейн – це важлива частина світу сьогодення. Ця технологія застосовується в логістиці, охороні здоров'я, фінансових транзакціях та багатьох інших сферах. І щоб забезпечити високу відмовостійкість, продуктивність та інші важливі аспекти програмного забезпечення кожен блокчейн потребує ретельного тестування на кожному етапі циклу його розробки. Дякуючи багатьом розробникам, які зробили вклад в блокчейн та програмне забезпечення, яке відноситься до нього, сьогодні ми маємо багато методів для створення тестових випадків для блокчейну. Зараз велика кількість компаній та організацій досліджують та впроваджують технологію блокчейну. Також, це створює попит на тестувальників, які забезпечують якість та надійність розподіленої системи. В цій статті ми розглянемо процес автоматизованого тестування блокчейну, його важливість та виклики, які виникають під час розробки блокчейн-продуктів. Ми будемо використовувати Postman для проведення потрібного тестування. Також, ми будемо використовувати автоматизоване тестування для виключення людського фактору з процесу.

В цій статті буде розказано про стадії автоматизованого тестування блокчейну і створимо один тестовий випадок.

Ключові слова: автоматизоване тестування, postman, блокчейн.

Miskevych O., Omelchuk D. Manual and automated blockchain testing with Postman. Humanity created an immense amount of various inventions to make life easier and better. As time passes, inventions become more and more complicated and so does its testing. Blockchain is an important part of today's world. This technology serves its purpose in logistics, healthcare, financial transactions, and many more sectors. And in order to provide resilient and high-performing product every single blockchain requires thorough testing at every point of its development life cycle. Thanks to the many developers who made their contribution to blockchain and other software that is related to it, today we have many ways to create test cases for blockchain. With time, software becomes more complex and so do tests: all things need to be in properly-working state. Blockchain testing has its challenges, such as performance and work under load, integration testing and security. In this article, we will be using Postman for conducting required testing. We will be using automated test to exclude human factor from our testing.

In this article we will cover all phases of automatic testing of our blockchain and create one test case.

Key words: automatic testing, postman, blockchain.

Вступ. В реальному світі та в світі інформаційних технологій існують численні системи, які використовуються для обробки даних та забезпечення їхньої надійності та цілісності. Однією з найбільш перспективних та обіцяючих технологій є блокчейн. Ця технологія революціонізує спосіб обміну даними та фінансовими операціями, забезпечуючи високий рівень безпеки та відкритості.

Блокчейн - це розподілена система, яка зберігає та керує даними за допомогою ланцюга блоків. Кожен блок містить інформацію про певну кількість транзакцій, та всі блоки зв'язані між собою. Основна ідея блокчейну полягає в тому, що дані є незмінними та недоступними для втручання після того, як вони були збережені. Ця технологія була розроблена для забезпечення безпеки та надійності фінансових операцій, але вона також знаходить застосування в різних інших галузях.

Основна частина. Тестування блокчейну є невід'ємною частиною процесу розробки та впровадження цієї технології. Воно виконує низку важливих функцій, серед яких:

Верифікація смарт-контрактів - багато блокчейнів використовують смарт-контракти - програми, які автоматизовано виконують операції при виконанні певних умов і ручне тестування допомагає переконатися, що смарт-контракти працюють правильно та не містять помилок, які можуть призвести до втрати коштів або порушення угод;

Перевірка безпеки - безпека є однією з ключових переваг блокчейну, і ручне тестування допомагає виявити потенційні уразливості та ризики в системі, бо тестувальники перевіряють, чи існують можливості для атак та визначають, чи відповідає даний блокчейн стандартам безпеки;

Тестування мережі: розробники блокчейну створюють власні мережі для тестування та вдосконалення системи перед впровадженням, ручне тестування мережі дозволяє переконатися, що вона працює належним чином та витримує навантаження;

Postman надає потужну платформу для ручного автоматизованого тестування додатків блокчейну. Він дуже ефективний у автоматизації тестування API, яке є обов'язковим для додатків блокчейну, оскільки вони зазвичай використовують API для взаємодії. Postman автоматизує тестування цих API, надсилаючи серію запитів із заданими тестовими даними та перевіряючи відповіді.

Тестування продуктивності - ще одна сильна сторона Postman. Тести можуть бути налаштовані так, щоб симулювати велику кількість одночасних запитів до мережі блокчейну, оцінюючи наскільки добре додаток впорається з навантаженням.

Ручне тестування займає багато часу, особливо в розподілених системах. Тому при розробці блокчейн-продуктів також активно використовують автоматизоване тестування.

Тестовий випадок №1

Опис: Цей тест перевіряє правильність відправлення криптовалюти з одного гаманця на інший у блокчейн-мережі.

1. В Postman перейти по адресі localhost:5000/mine і натиснути кнопку Send

3. Тип запиту обрати POST, дані виду raw, формат – JSON

```
{
  "sender": "*хеш користувача*",
  "recipient": "someone-with-other-address",
  "amount": 1000
}
```

- Обрати тип запиту GET, перейти по адресі localhost:5000/mine

Результат:

```
{
  "chain": [
    {
```

```
    "index": 1,  
    "previous_hash": 1,  
    "proof": 100,  
    "timestamp": 1699201050.1327708,  
    "transactions": []  
  },  
  {  
    "index": 2,  
    "previous_hash": "ef485514d8ef0b1e2087eefa6cb9c10424914179712db3d9f311b7de468a  
3c0f",  
    "proof": 35293,  
    "timestamp": 1699208789.292067,  
    "transactions": [  
      {  
        "amount": 1,  
        "recipient": "f88d61f52800481eb60a07510011038e",  
        "sender": "0"  
      }  
    ]  
  },  
  {  
    "index": 3,  
    "previous_hash": "09ae4a3034c92c2d1e7511738e1f477a6f06ac0a44b5fce6e42521239a7b  
fle0",  
    "proof": 35089,  
    "timestamp": 1699209072.607282,  
    "transactions": [  
      {  
        "amount": 1000,  
        "recipient": "someone-with-other-address",  
        "sender": "f88d61f52800481eb60a07510011038e"  
      },  
      {  
        "amount": 1,  
        "recipient": "f88d61f52800481eb60a07510011038e",  
        "sender": "0"  
      }  
    ]  
  }  
],  
"length": 3  
}
```

Тут ми можемо бачити те, що транзакція дійсно проводиться і зберігається в ланцюгу, але наш блокчейн не слідкує за балансом і дозволяє проводити транзакції з меншою кількістю монет ніж є у користувача. Звідси можна створити баг-репорт:

Баг-репорт №1:

Опис: потрібно перевіряти чи сума яка буде відправлена комусь є меншою або рівною поточному балансу користувача.

Очікуваний результат: блокчейн зупиняє транзакцію та виводить повідомлення про недостатню кількість монет на балансі.

Результат: транзакція проводиться і зберігається в ланцюгу.

Критичність багу: максимальна

Кроки для відтворення:

1. В Postman перейти по адресі localhost:5000/mine і натиснути кнопку Send
2. Далі перейти по адресі localhost:5000/transactions/new

3. Тип запити обрати POST, дані виду raw, формат – JSON
4. Ввести в поле запити наступне:
{
 "sender": "*хеш користувача*",
 "recipient": "someone-with-other-address",
 "amount": 1000
}
5. Натиснути на кнопку "Send"
6. Обрати тип запити GET, перейти по адресі localhost:5000/mine
7. Перейти по адресі localhost:5000/chain

Тепер приступимо до автоматизованого тестування. Кроки для створення автоматизованого тесту:

Створення тестового скрипту - Тестувальники створюють тестові скрипти в Postman, вказуючи запити API та очікувані результати. Ці скрипти організовані в колекції.

Налаштування автоматизації - Postman може бути налаштованим на автоматичний запуск. Це включає визначення змінних, наборів даних та середовищ тестування.

Виконання - Як тільки автоматизовані тести налаштовані, їх можна виконувати автоматично. Postman відправляє запити, обробляє дані та перевіряє результати відповідно до заданих скриптів.

Звітність - Під час виконання автоматизованих тестів Postman генерує докладні звіти. Ці звіти включають статуси (пройшов/не пройшов), докладні журнали, часи відповідей та інші корисні дані про процес тестування. Будь-які помилки повідомляються для подальшого аналізу.

Під час ручного тестування тестувальники повинні вдаватися до відповідних дій для перевірки роботи системи. Наприклад: перевірка транзакцій - тестувальники повинні переконатися, що транзакції виконуються правильно та без помилок, вони перевіряють коректність передачі коштів та відстежують рух активів між користувачами; тестування смарт-контрактів: смарт-контракти мають бути ретельно протестовані, включаючи випадки виконання, невиконання та помилкові сценарії, а також потрібно перевірити як контракти взаємодіють між собою; тестування масштабованості та продуктивності - ручне тестування включає в себе перевірку масштабованості системи та її продуктивності, а тестувальники можуть навантажувати систему та вимірювати її реакцію на велику кількість операцій; валідація даних - важливо переконатися, що дані в блокчейні є достовірними та правильними, тестувальники повинні перевіряти інформацію, яка зберігається у блоках, на відповідність стандартам; тестування інтерфейсу - якщо система має інтерфейс для користувачів, тестувальники повинні перевірити його на відповідність дизайну та функціональним вимогам.

Ручне тестування займає багато часу, особливо в розподілених системах. Тому при розробці блокчейн-продуктів також активно використовують автоматизоване тестування.

Автоматизоване тестування є важливою складовою процесу розробки блокчейну. Воно дозволяє виконувати тести швидше та ефективніше, забезпечуючи високий рівень достовірності та точності результатів. Основні переваги автоматизованого тестування включають:

Автоматизоване виконання тестів: Автоматизовані тести можуть бути запущені автоматично при кожній зміні в коді або при певних подіях, що дозволяє виявляти помилки швидше та зменшувати ризик людських помилок.

Швидкість виконання: Автоматизовані тести виконуються набагато швидше, ніж ручні, що дозволяє збільшити ефективність розробки та впровадження.

Повторюваність та послідовність: Автоматизовані тести виконуються послідовно та точно кожен раз, що дозволяє виявляти проблеми, які можуть бути непередбачувані під час ручного тестування.

Тестування на великому обсязі даних: Автоматизовані тести дозволяють виконувати тестування на великому обсязі даних, таких як масштабованість та продуктивність, без значних витрат часу та зусиль.

Автоматизоване тестування блокчейну передбачає використання спеціалізованих інструментів та підходів для створення тестів та їх автоматичного виконання. Ось деякі з важливих аспектів автоматизованого тестування блокчейну:

Сценарії тестування: Визначення сценаріїв тестування є важливим етапом автоматизації. Тестувальники розробляють сценарії, які покривають різні аспекти роботи системи, включаючи взаємодію з смарт-контрактами, обробку транзакцій, перевірку безпеки та інші функціональності.

Вибір інструментів: Для автоматизованого тестування блокчейну використовуються різні інструменти, такі як Truffle, Mocha, та інші. Вибір інструментів залежить від конкретних потреб проекту та технологій, що використовуються.

Розробка тестового середовища: Важливо створити тестове середовище, яке відтворює умови роботи реальної мережі блокчейну. Це дозволяє виконувати тести в ідентичних умовах та переконатися, що система працює як очікувалося.

Автоматизоване виконання тестів: Створені тестові сценарії виконуються автоматично з використанням вибраних інструментів. Результати тестів аналізуються для виявлення помилок та невідповідностей.

Навчання моделей тестування: В деяких випадках використовуються машинне навчання та штучний інтелект для автоматизації тестування. Моделі можуть виявляти аномалії та підказувати тестувальникам, де шукати проблеми.

Автоматизоване відстеження помилок: Система відстеження помилок дозволяє ефективно керувати виявленими дефектами та вирішувати їх у найкоротший термін. Після виявлення проблем автоматизований процес може генерувати звіти та повідомлення для розробників.

Автоматизоване тестування дозволяє значно скоротити час виконання тестів та збільшити їхню покриття. Проте важливо розуміти, що автоматизоване тестування не може замінити ручне тестування повністю, оскільки ручне тестування важливе для перевірки аспектів, які не можуть бути автоматизовані, такі як інтуїція користувача та інші аспекти, які потребують від людини креативного підходу.

Виклики тестування блокчейну

Тестування блокчейну має свої власні виклики та особливості, які варто враховувати при розробці тестових стратегій. Деякі з них включають:

Складність системи: Блокчейн - це розподілена система зі складними механізмами. Тестувальники повинні мати глибоке розуміння цих механізмів, щоб ефективно визначити потенційні проблеми.

Невизначеність стандартів: На ринку існує багато різних реалізацій блокчейну, і стандарти ще не повністю визначені. Це ускладнює розробку тестових кейсів та сценаріїв.

Приватність та безпека: Безпека та приватність є важливими аспектами блокчейну, і вони вимагають особливої уваги при тестуванні. Тестувальники повинні переконатися, що конфіденційні дані не витікають та що система захищена від зловмисних атак.

Великий обсяг даних: Блокчейн може містити великий обсяг даних, особливо якщо він використовується для зберігання історії транзакцій. Тестувальники повинні мати можливість ефективно керувати цим обсягом та виконувати тести на різних масштабах.

Сценарії розгортання: Блокчейн може бути розгорнутий у різних сценаріях, включаючи публічні та приватні мережі, мережі спеціального призначення та інші. Тестувальники повинні враховувати ці різні сценарії при створенні тестових кейсів.

Незмінність даних: Однією з ключових особливостей блокчейну є незмінність даних, тобто дані не можуть бути видалені чи змінені після додавання до блокчейну. Це ускладнює виправлення помилок та робить важливим тестування перед впровадженням.

Синхронізація мережі: У розподіленій мережі блокчейну важливо переконатися, що всі учасники мережі синхронізовані та отримують дані вчасно. Тестувальники повинні виконувати сценарії синхронізації для визначення потенційних проблем.

Заключні думки

Тестування блокчейну є складним та важливим процесом для забезпечення якості та надійності розподіленої системи. Ручне та автоматизоване тестування мають свої власні переваги та виклики, і їх комбінація дозволяє досягти найкращих результатів.

Важливо мати глибоке розуміння технології блокчейну та його особливостей для ефективного тестування. Тестувальники повинні визначати важливі аспекти для конкретного проекту, розробляти відповідні стратегії тестування та виявляти проблеми, які можуть виникнути під час роботи системи.

Блокчейн може бути використаний для різних цілей, включаючи фінансові транзакції, розподілені реєстри, обмін медичними даними та багато інших. Звідси, тестування повинно бути спрямоване на конкретні потреби та вимоги проекту. Це технологія майбутнього, яка вже змінює спосіб обміну даними та фінансовими операціями. Тестування грає важливу роль у забезпеченні надійності та безпеки цієї технології, і воно буде продовжувати розвиватися та вдосконалюватися разом із блокчейном.

Ця стаття надає загальний огляд тестування блокчейну та його важливості в сучасному інформаційному суспільстві. Блокчейн вже знайшов своє застосування в різних галузях, включаючи фінанси, логістику, медицину та багато інших. Однак ця технологія не є панацеєю і також вимагає тестування для забезпечення її надійності та безпеки.

Важливо розуміти, що блокчейн - це не лише технологія, але і концепція розподіленої бази даних, яка вимагає нових підходів до розробки та тестування. Ручне тестування залишається важливою складовою процесу, оскільки воно дозволяє перевіряти аспекти, які не можуть бути автоматизовані, такі як інтуїція користувача та реакція на непередбачені ситуації.

Автоматизоване тестування, у свою чергу, допомагає виконувати тести швидше та ефективніше, зменшуючи ризик людських помилок та забезпечуючи вищу точність результатів. Використання відповідних інструментів та підходів до автоматизації дозволяє розробникам та тестувальникам вдосконалити процес розробки та впровадження блокчейн-продуктів.

Незважаючи на виклики, пов'язані з тестуванням блокчейну, ця технологія обіцяє змінити багато аспектів сучасного суспільства. Вона може покращити безпеку фінансових транзакцій, забезпечити прозорість управління даними та сприяти розвитку нових галузей, таких як інтернет речей та цифрова медицина.

У майбутньому тестування блокчейну буде лише набирати обертів і розвиватися разом із самою технологією. Тестувальники та розробники матимуть нагоду вдосконалювати свої навички та вивчати нові методи тестування, щоб забезпечити високу якість блокчейн-продуктів.

Таким чином, тестування блокчейну відіграє важливу роль у розвитку цієї технології та допомагає забезпечити її надійність та безпеку. Воно вимагає спеціалізованих знань та навичок, але відкриває нові можливості для інновацій та розвитку. Тестування блокчейну є важливою складовою цього цифрового майбутнього і продовжуватиме грати ключову роль в його розвитку.

В код блокчейну були внесені корективи і тепер там присутня перевірка балансу користувача, помилка при недостатній кількості коштів буде мати код 51. Код який потрібно ввести в вкладку Tests в Postman:

```
pm.sendRequest({
  url: 'http://localhost:5000/mine',
  method: 'GET'
}, function (err, response) {
  if (err) {
    pm.test('GET запит /mine має помилку', function () {
      pm.expect.fail('GET /mine request failed');
    });
  } else {
    pm.test('GET запит /mine спрацював', function () {
      pm.expect(response).to.have.status(200);
    });

    var transactions = pm.response.json().transactions;
    var lastTransaction = transactions[transactions.length - 1];
    var recipient = lastTransaction.recipient;
    pm.environment.set('recipient', recipient);

    pm.sendRequest({
      url: 'http://localhost:5000/transactions/new',
      method: 'POST',
      header: 'Content-Type: application/json',
      body: {
```



```
mode: 'raw',
raw: JSON.stringify({
  "sender": recipient,
  "recipient": "someone-else",
  "amount": 10
})
}, function (err, response) {
  if (response.code !== 51) {
    pm.test('POST запит /transactions/new має помилку', function () {
      pm.expect.fail('POST /transactions/new request failed');
    });
  } else {
    pm.test('POST запит /transactions/new спрацював, помилка 51', function () {
      pm.expect(response).to.have.status(51);
    });
  }
});
});
```

В ньому ми майнемо 1 монету, беремо наш хеш з результату і відправляємо її на адресу "someone-else". Якщо з'явиться помилка то Postman повідомить, що транзакція не була проведена і виведе код помилки, якщо помилка 51 то тест буде успішним.

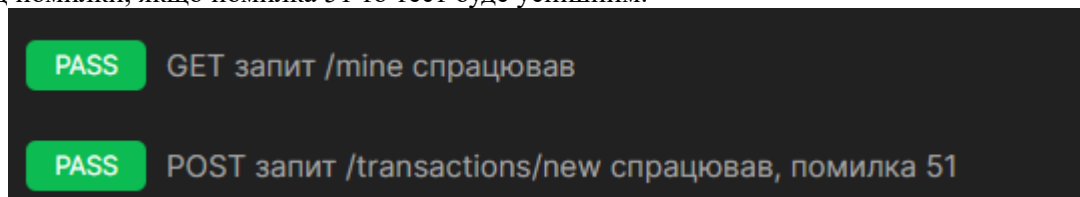


Рис. 1. Інтерфейс вкладки Test Results в Postman

Отже, баг був вирішений та успішно протестований.

Результат дослідження

Почнемо з переваг ручного тестування:

Гнучкість: Тестувальники мають можливість досліджувати додаток, адаптувати тестові випадки під час тестування та вивчати можливу неочікувану поведінку. Загалом, ручне тестування дає можливість тестувальникам реагувати на зміни та вносити корективи до тестових сценаріїв під час розробки.

Моделювання сценаріїв реального світу: Ручне тестування дозволяє тестувальникам імітувати сценарії реального світу для перевірки того що додаток відповідає очікуванням користувачів.

Оцінка безпеки: Тестувальники можуть активно шукати вразливості з точки зору безпеки, що є важливим аспектом тестування додатків блокчейну.

Можливість використовувати творчий підхід: Тестувальники можуть використовувати свій досвід та інтуїцію для пошуку помилок, які можуть бути не знайденими автоматизованими інструментами.

Пошук нових видів помилок: Ручне тестування дозволяє виявити нові види помилок, які не були передбачені в автоматизованих сценаріях.

У ручного тестування є і недоліки:

Час і затрати: Ручне тестування вимагає багато часу і зусиль, особливо при великих проектах.

Людські помилки: Люди можуть допускати помилки та пропускати потенційні проблеми незважаючи на їх досвід та кваліфікацію.

Повторюваність: Ручні тести важко повторювати, і це може призвести до недостатнього покриття тестами.

Автоматизоване тестування, як і ручне, має свої переваги. Наприклад, автоматизовані тести можна виконувати швидко і дуже велику кількість разів, що прискорює процес тестування. Це корисно в сфері програмування блокчейн-програм, де важлива безперервна інтеграція. Ще автоматизоване тестування забезпечує послідовне виконання тестів, в цьому виді тестування неможливі помилки людського фактору та варіацій в тестуванні. Під час життєвого циклу розробки постійно вносяться нові зміни або оновлення. За допомогою автоматизованих тестів можна перевіряти новий код на предмет відповідності існуючим тестовим випадкам. Тестування навантаження є важливим для блокчейн-застосунків, які повинні обробляти велику кількість транзакцій. Автоматизоване тестування може симулювати велику навантаженість для оцінки продуктивності при стресовому тестуванні. Автоматизуючи рутинні тести, що включають велику кількість повторюваних взаємодій з мережею блокчейну, ресурси можна перерозподілити для більш складних тестів.

У автоматизованого тестування також є і недоліки. Створення автоматизованих тестів може бути витратним завданням, особливо на початковому етапі розробки. Автоматизовані тести потребують постійного обслуговування та оновлення під час змін в коді програми. Автоматизовані тести не можуть виявити помилки, які не були передбачені в сценаріях.

Висновки. У цій статті була пояснена потреба блокчейн-програм та як саме можна протестувати їх. Як ми дослідили у цій статті, Postman є корисним інструментом для забезпечення якості блокчейну.

Ручне тестування надає тестувальникам комплексне розуміння системи блокчейну. Воно дозволяє перевіряти процеси реєстрації користувачів, верифікацію транзакцій, взаємодію розумних контрактів та протоколи безпеки. Шляхом умісного введення помилок та детального аналізу ручне тестування розкриває вразливості та забезпечує надійність.

Під час ручного тестування тестувальники можуть імітувати сценарії реального життя, визначати граничні випадки та перевіряти коректність кожного процесу. Проте ручне тестування може бути витратним за часом і не завжди охоплює весь обсяг системи блокчейну.

Автоматизовані тести вносять ефективність та послідовність в процес тестування. Тестові скрипти полегшують виконання кількох тестових випадків однією командою. Здатність адаптувати середовища тестування та генерувати якісні звіти підвищує ефективність тестування.

Ручне та автоматизоване тестування з використанням Postman становлять потужну комбінацію для забезпечення надійності, якості та безпеки систем блокчейну. Тестувальники досліджують особливості технології блокчейну, виявляють вразливості та запобігають непередбаченим наслідкам завдяки засобам тестування як Postman. Оскільки технологія блокчейн продовжує революціонізувати різні галузі, ретельне тестування та інструменти, подібні Postman, залишатимуться ключовими для забезпечення якості та безпеки блокчейну.

Список бібліографічного опису

1. Христинець Н., Міскевич О., Мазуренко В. Технології Blockchain для оптимізації процесів документообігу. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2020. №40. С. 153-157.
2. Blockchain Testing - A Comprehensive Guide. Електронний ресурс. – URL: <https://www.guru99.com/blockchain-testing.html> (дата звернення 06.11.2023).
3. Introduction to Blockchain Testing. Електронний ресурс. – URL: <https://www.softwaretestinghelp.com/blockchain-testing/> (дата звернення 10.11.2023).
4. Blockchain Testing - A Complete Guide. Електронний ресурс. – URL: <https://www.edureka.co/blog/blockchain-testing> (дата звернення 12.11.2023).

References

1. Khrystinets N., Miskevich O., Mazurenko V. Blockchain technologies for optimizing document flow processes. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2020. No. 40. P. 153-157.
2. Blockchain Testing - A Comprehensive Guide. Electronic resource. – URL: <https://www.guru99.com/blockchain-testing.html> (access date 06.11.2023).
3. Introduction to Blockchain Testing. Electronic resource. – URL: <https://www.softwaretestinghelp.com/blockchain-testing/> (access date 11.10.2023).
4. Blockchain Testing - A Complete Guide. Electronic resource. – URL: <https://www.edureka.co/blog/blockchain-testing> (access date 11.12.2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-53-05>

УДК 004.415.3

Пех Петро Антонович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Мельник Катерина Вікторівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9991-582X>

Шепелюк Дмитро Леонідович, магістр

Шепелюк Леонід Дмитрович, магістр

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ НОМЕРНИХ ЗНАКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ

Пех П.А., Мельник К.В., Шепелюк Д.Л., Шепелюк Л.Д. Дослідження технології розпізнавання номерних знаків за допомогою мобільних додатків. В статті досліджуються технології розпізнавання номерних знаків засобами сучасних смартфонів.

Ключові слова: система розпізнавання номерних знаків, оператор Кенні, оператор Собеля, оператор Лапласа

Pekh P., Melnyk K., Shepelyuk D., Shepelyuk L. Study of license plate recognition technology using mobile applications. The article examines license plate recognition technologies using modern smartphones.

Key words: Number plate recognition system, Kenny operator, Sobel operator, Laplace operator

Постановка задачі. В час бурхливого розвитку комп'ютерних технологій усе більш актуальною задачею є розробка та використання систем розпізнавання образів для різних потреб: визначення і розпізнавання обличчя, знаходження конкретних образів на відео та зображеннях з метою оброблення отриманих шляхом розпізнавання даних. Ймовірно, що найбільш широким напрямом цієї тематики є розпізнавання текстової інформації, і саме тому оцифровування та оброблення текстових даних мають велике значення. Однією з підзадач розпізнавання тексту є розпізнавання автомобільних номерів.

Транспортні засоби мають унікальний ідентифікаційний номер в якості основного розпізнавального знаку. В них можуть використовуватися українські літери, літери латиниці, цифри, а також малюнки [1]. В залежності від виду, номерні знаки можуть мати різний розмір, колір тла та символів.

«Сьогодні в Україні існує 15 типів номерних знаків (більше двадцяти підтипів). На номерних знаках використовуються українські літери, що мають графічні відповідники у латиниці (усього 12: А, В, С, Е, Н, І, К, М, О, Р, Т, Х) та літери української та латинської абеток: А, В, Г, Е, І, К, М, Н, О, Р, С, Т, Ф, Х, Ч, Ю, Я» [2].

На сьогоднішній день існує велика кількість різноманітних систем розпізнавання автомобільних номерів, серед яких вирізняють два типи – апаратні та програмні. Апаратні системи розпізнавання автомобільних номерів, це системи, які визначають номер за допомогою вбудованих у камери засобів.

Розрізняють системи розпізнавання номерів з різним рівнем якості розпізнавання, величиною швидкодії і спектром послуг додаткових функцій [3, 4]. Сучасні системи (LPR-системи) характеризуються високою швидкістю і точністю розпізнавання (97-98%), і, як правило, дуже дорогі та вимагають стаціонарної установки та відповідної підтримки (спеціального сервера, який і виконує всі необхідні операції оброблення зображень). Висока вартість LPR-систем не дозволяє використовувати їх на побутовому рівні. В даний час існує досить велика кількість мобільних систем визначення номерних знаків [3,4]. В основному це платні продукти, і алгоритм їх функціонування засекречений і є комерційною таємницею.

Альтернативою дороговартісним камерам є застосування мобільних додатків смартфонів[5,6]. Цей підхід може бути більш вдалим, якщо мова йде про заощадження коштів, оскільки для розгортання такої системи не потрібне додаткове дороге обладнання. Характеристики камери в сучасних моделях смартфонів наближаються до професійних камер. Смартфони завжди під рукою, надають можливість робити знімки автотранспорту у звичайних умовах “на льоту”, та використовувати програмну систему розпізнавання номерів.

Метою дослідження було дослідити різні технології розпізнавання номерних знаків, з'ясувати, які з цих технологій можна реалізувати за допомогою сучасних смартфонів і експериментально перевірити ефективність таких систем.

Новизна дослідження полягає у тому, що для побудови системи розпізнавання номерних знаків використовуються смартфони, що істотно зменшує на її вартість.

Основна частина. Розглянемо два підходи до розпізнавання образів.

Перший підхід — апаратний — ґрунтується на оптичному розпізнаванні образів, що дозволяє застосувати методи перебору вигляду об'єкта під різними кутами, масштабами, зсувами й т. д. Для розпізнавання символів потрібно перебирати різні шрифти, властивості шрифтів т. д. Даний метод складно реалізувати засобами смартфону, оскільки потребує кілька камер та деяку кількість знімків.

Другий підхід — програмний — передбачає розробку мобільного додатку здатного опрацювати знімок автотранспорту та розпізнавати номерні знаки.

Основним завданням програмного забезпечення знайти контур об'єкта — номерної рамки на знімку та розпізнати номерні знаки. Існує безліч алгоритмів для виділення контурів, такі як: оператор Собеля, оператор Лапласа, оператор Робертса, оператор Прюїтт і оператор Кенні[9]. Детектування контурів необхідно в тому випадку, коли є досить складне зображення Використовуючи інструменти бібліотеки комп'ютерного зору необхідно виділити об'єкти на цьому зображенні для подальшої роботи з ними.

Весь процес визначення автономеру можна записати як послідовність кроків [16] попередньої обробки зображення, вибірки даних, на основі зображення, та аналізу зібраних даних. Оскільки номерні знаки є комбінацією цифр і літер - то розпізнавання номера зводиться до алгоритмів розпізнавання тексту і цифр[15].

Алгоритм визначення номерних знаків із застосуванням бібліотек оптичного розпізнавання наведено на рисунку 1.

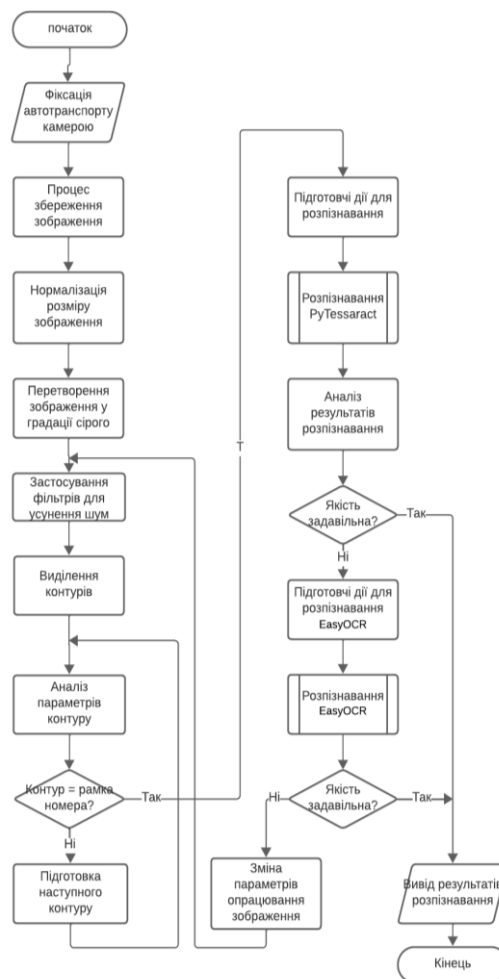


Рис. 1. Алгоритм визначення номерних знаків із застосуванням бібліотек оптичного розпізнавання

Варто відзначити, що всі наступні методи працюють з чорно-білими зображеннями. Тобто, спершу вихідна картинка з RGB переводиться у відтінки сірого. Приклад перетворення зображення показано на рис. 2.

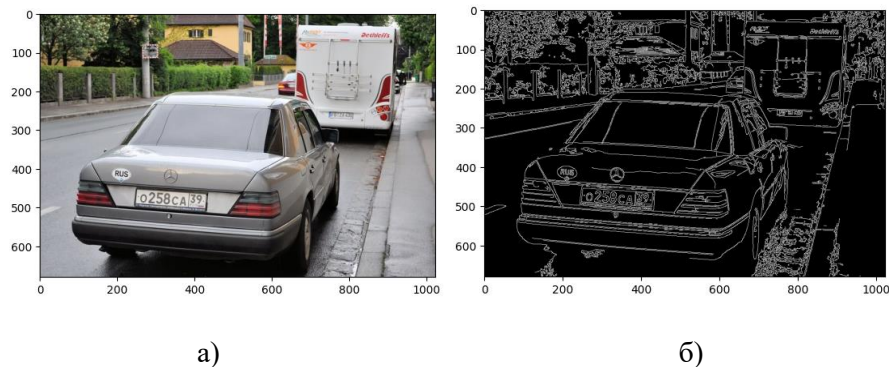


Рис. 2. Результат перетворення
а) вхідне зображення; б) виділення контурів застосування оператора Кенні

Наступним етапом алгоритму є компонентний аналіз: це послідовний аналіз виділених контурів з урахуванням їх площі, геометрії і т.д. Це доволі витратний за ресурсами етап, оскільки вимагає великої кількості обчислень: перевірка кожного контуру, а також child-контурів.

В даний час існує більше 10 алгоритмів, що вирішують завдання фільтрації контурів, ми перерахуємо основні 5: оператор Кенні, оператор Собеля, оператор Лапласа, оператор Прюїтт, оператор Робертса. Найчастіше використовується саме оператор Кенні (рис. 3), який виокремлює контури при правильних налаштуваннях фільтрів. Програмна реалізація попередньої обробки із застосування бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV зображена на рис. 3

```
import cv2
import numpy as np
image = cv2.imread('cntr.jpg') #прочитати зображення
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY) #відтінки сірого
blurred = cv2.GaussianBlur(gray, (5, 5), 0) #зменшення шуму
# Використовуємо поріг для виділення контурів
_, thresh = cv2.threshold(blurred, 128, 255, cv2.THRESH_BINARY)
# thresh = cv2.Canny(blurred, 30, 150) #або застосування оператора Canny
# виділення контурів на зображенні
contours, _ = cv2.findContours(thresh, cv2.RETR_EXTERNAL,
                               cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
#Сортування контурів за площею (вибір максимального)
contours = sorted(contours, key=cv2.contourArea, reverse=True)[:1]
# Збереження виокремленого контуру у новий файл
cv2.imwrite('cntr.jpg', contour)
```

Рис. 3. Програмна реалізація етапів попереднього оброблення зображення

Далі зупинимося на задачі розпізнавання номерних знаків зі застосуванням бібліотек комп'ютерного зору.

Розпізнавання символів являється класичною задачею. Існує безліч рішень, та певні з них майже досконалі. Найкращими такими алгоритмами є алгоритм Tesseract OCR[7] (рис. 4) та його аналоги.

PyTesseract – це бібліотека, яка була розроблена у 90-тих роках минулого століття, та з 2006-го року використовується компанією Google. Бібліотека має підтримку юнікоду UTF-8, вміє розпізнавати більше 100 мов світу. Вихідний формат розпізнавання може бути різним: звичайний текст, html, pdf, tsv, тощо.

Одним із варіантів є застосування бібліотеки PyTesseract - розпізнавання текст на зображеннях або в графічних файлах.

```
!pip install pytesseract
!sudo apt install tesseract-ocr
!sudo apt-get install tesseract-ocr-ukr
import pytesseract
. . .
# Зчитуємо зображення
image = cv2.imread('path/to/image/cntr.jpg')
# Перетворюємо в відтінки сірого якщо це не було попередньо зроблено
gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)
# Розпізнаємо текст на зображенні
text = pytesseract.image_to_string(gray)
print(«Розпізнаний текст:», text) # Виводимо результат
```

Рис.4. Фрагмент коду розпізнавання тексту на зображенні із застосуванням бібліотеки PyTesseract

EasyOCR[12] (рис.5) - це бібліотека для розпізнавання тексту, яка базується на deep learning та використовує предобробку та архітектури нейронних мереж для ефективного розпізнавання тексту на зображеннях.

```
import imutils
import easyocr
#попередня обробка зображення
img = cv2.imread('/content/drive/MyDrive/Colab Notebooks/cars/4.jpg')
gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGRA2GRAY)
edges = cv2.Canny(img_filter, 30, 200)
cont = cv2.findContours(edges.copy(), cv2.RETR_TREE,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
cont = imutils.grab_contours(cont)
cont = sorted(cont, key = cv2.contourArea, reverse= True)[:2]
crop = gray[x1:x2, y1:y2]
text = easyocr.Reader(['ru'])
text =text.readtext(crop)
print(text)
```

Рисунок 5 – Фрагмент коду розпізнавання тексту на зображенні із застосуванням бібліотеки EasyOCR

Експериментальні дослідження. Розроблення програмного забезпечення проводилася з використанням мови програмування Python 3 в середовищі Google Collaboratory[17], що надає можливість запускати та писати код Python в хмарному середовищі, не встановлюючи на своєму комп'ютері Python або інші програмні засоби.

Для автоматичного тестування використано датасет: Automatic Number Plate Recognition [13]

Для мануальної перевірки роботи програмного засобу була зібрана невелика кількість зображень автомобілів з номерами - скриншоти фотографій автомобілів [14] з середньою роздільною здатністю 1000x700, що наближена до роздільної здатності камери смартфона (1280x720), які можна розпізнати людським оком.

Результати експериментів з параметрами конфігурації та оптимізації зображень та використання різних методи підготовки зображень (наприклад, зменшення шуму, бінаризація тощо) відображені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розпізнавання номерних знаків. Вибірка нерозпізнаних номерів

Зображення	Результати розпізнавання PyTesseract	Результата розпізнавання EasyOCR	Номерний знак	Примітки
Датасет №1 Dataset Automatic Number Plate Recognition [15]				
247.jpg	TN078U5427	TN07BU5427	TN07BU5427	
244.jpg	KL 05AK3300	K105AK3300	KL	розпізнано

Зображення	Результати розпізнавання PyTesseract	Результата розпізнавання EasyOCR	Номерний знак	Примітки
			05AK3300	
242.jpg	MH 20DV2362	MH 20DV2362	MH 20DV2362	
238.jpg	H20EE1591	MH20EE7597	MH20EE7597	не чіткий
249.jpg	не розпізнано	не розпізнано	не розпізнано	не розпізнано
241.jpg	KV 57 CK0	KV 57 CK	KV 57 CKC	під кутом
246.jpg	LMH06AW8929	MH06AW8929	MH06AW8929	під кутом
240.jpg	TN 09CH7770	TN 090H77701	TN 09CH7770	не чітке
4.jpg	24KZT5	24KZT5	24KZT5	жовтий фон
7.jpg	не розпізнано	не розпізнано	77ZFK8	жовтий фон, додатковий напис
20.jpg	JPI481	JP548J	JP548J	жовтий фон "змазаний"
9.jpg	не розпізнано	не розпізнано	MH14TC206/AN	фон рамки та кузова - червоний
Датасет №2 Власна колекція [16]				
301.jpg	не розпізнано	не розпізнано	03EC0213	червона рамка, білі знаки
302.jpg	KA 0222BX	KA 0222BX	KA 0222BX	
303.jpg	не розпізнано	не розпізнано	E SKM LTD	
304.jpg	HH0095CC	HH0095OO	HH0095CC	

Висновки. В процесі дослідження було створено макет мобільної системи розпізнавання номерів автотранспортних засобів, яка реалізована засобами мови Python. Для аналізу результатів роботи програмного засобу було використано датасет від Kaggle та власна колекція зображень автомобілів з номерами, які можна розпізнати людським оком, та мануально перевірити роботу програмного засобу.

За результатами ручного тестування якості розпізнавання номерних знаків для датасет №1 складає 83%, для датасет №2 – 87%.

Причиною поганого розпізнавання є нечіткі або забруднені номерні рамки та знаки. Часто причиною поганого розпізнавання є червоне або жовте тло рамки, білий колір знаків. Підвищити якість розпізнавання можна, застосовуючи адаптивні фільтри, змінюючи порогове значення, за яким відбувається бінаризація. Експериментальні дослідження показали, що порогове значення кількості об'єктів сегменту для уникнення хибної детекції номерного знаку повинно бути не більшим за 20.

Програмний засіб відмінно розпізнає номерні знаки та високоякісні зображення автомобіля з роздільною здатністю 1920x1080 та забрудненим номером.

Для чітких зображень причиною помилки в розпізнаванні було те, що автомобіль був такого ж кольору, як і тло автомобільного номеру, що ускладнює процес виявлення рамки номерного знаку.

Тимчасові номери, які мають червоне тло номеру і білі знаки, програмний засіб розпізнати не зміг. Така ситуація виникла під час навчання каскаду Хаара. Було використано лише декілька зображень з номерами не білого кольору, тому алгоритм в деяких випадках не знаходив рамки номеру.

Розроблений застосунок потребує інтелектуальної системи налаштування попередньої обробки зображень. Але для непрофесійного, побутового застосування така точність розпізнавання буде достатня.

Таким чином, у статті наведені технології та результати дослідження систем розпізнавання номерів транспортних засобів, які можуть бути застосовані під час розроблення нових та модернізації існуючих систем.

Список бібліографічного опису

1. Номерні знаки України. <https://avtonomera.net.ua/ua/nomerni-znaky-avtomobilni-nomera-ukrayiny.html>
2. AutoVu automatic license plate recognition (ALPR). <https://www.genetec.com/products/unified-security/autovu>
3. <https://www.nedapidentification.com/products/filter/license-plate-recognition-solutions/passive-uhf-solutions/>
4. Додатки в Google Play NPRReader (full version). <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.imense.imenseANPRfull&hl=uk&gl=US>
5. Додатки в Google Play Carmen Mobile. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.arh.anprclientwithopencv&hl=uk&gl=US>
6. ДСТУ 4278:2019. Дорожній транспорт. Знаки номерні транспортних засобів. Загальні вимоги. Чинний від 16.03.2020. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2020. 31 с.
7. Подорожняк А.О. Нейромережева система розпізнавання автономера / А.О. Подорожняк, Н.Ю. Любченко, Г.В. Гейко // Системи управління, навігації та зв'язку. Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. Вип. 4 (62). 2020. С. 88 – 92. doi: <https://doi.org/10.26906/SUNZ.2020.4.088>.
8. Dataset: скріншоти автомобілів сайту <https://auto.ria.com/uk/>
9. Dataset Automatic Number Plate Recognition <https://www.kaggle.com/datasets/aslanahmedov/number-plate-detection>
10. Портал документації Open. eVision 2.5.1 .1107/ https://documentation.euresys.com/Products/Open_eVision/Open_eVision_2_5/en-us/Content/03_Using_Open_eVision/D1_EasyOCR_-_Reading_Texts/EasyOCR_-_Reading_Texts.html
11. Бібліотека сторонніх пакетів Python (PyPI). <https://pypi.org/project/easyocr/>

References

12. Tesseract documentation. Tesseract OCR. URL: <https://tesseract-ocr.github.io/> (date of access: 12.11.2023).
13. OpenCV: OpenCV-Python Tutorials. OpenCV documentation index. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d6/d00/tutorial_py_root.html (date of access: 12.11.2023).
14. Document Analysis and Recognition/ ICDAR 2023 17th International Conference, San José, CA, USA, August 21–26, 2023, Proceedings, Part 3/ 2023
15. Lakhmi C. Jain, Beatrice Lazzerini. Knowledge-Based Intelligent Techniques in Character Recognition Lakhmi C. Jain, Beatrice Lazzerini. 2020
16. Matthew Rever. Computer Vision Projects with OpenCV and Python 3. 2018
17. Google Colaboratory. Google Colab. URL: <https://colab.research.google.com/> (date of access: 12.11.2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-06>

UDC 004.8

Bortnyk Kateryna, PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

Yaroshchuk Bohdan, Master Student

Bahniuk Nataliia, PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Pekh Petro, PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Lutsk National Technical University, c. Lutsk, Ukraine

OVERCOMING CHALLENGES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE TRAINING: DATA LIMITATIONS, COMPUTATIONAL COSTS AND MODEL ROBUSTNESS

Bortnyk K., Yaroshchuk B., Bahniuk N., Pekh P. Overcoming challenges in artificial intelligence training: data limitations, computational costs and model robustness. This paper explores challenges in AI training, focusing on data limitations, computational costs, and the need for robust models. It discusses innovative solutions like synthetic data generation, efficient neural architectures, and robustness techniques, highlighting the importance of AI model interpretability.

Keywords: artificial intelligence, AI training, computational costs, environmental impact, model robustness, interpretability, energy efficiency, AI ethics, sustainable AI.

Бортник К.Я., Ярошчук Б.Р. Подолання викликів у тренуванні штучного інтелекту: обмеження даних, обчислювальні витрати та надійність моделей. Стаття аналізує виклики, пов'язані з тренуванням систем штучного інтелекту, зокрема проблеми з обмеженістю та якістю даних, високі обчислювальні витрати та необхідність забезпечення надійності моделей. Обговорюються інноваційні рішення, такі як синтез даних, ефективні архітектури нейронних мереж і методи забезпечення робастності, а також важливість інтерпретованості ШІ-моделей.

Ключові слова: штучний інтелект, тренування ШІ, обчислювальні витрати, екологічний вплив, надійність моделей, інтерпретованість, енергоефективність, етика ШІ, сталий ШІ.

The problem. The advent of artificial intelligence has spurred a technological revolution that has permeated nearly every sector of society. From predictive analytics in healthcare to autonomous vehicles, AI systems have shown immense potential to advance and innovate. However, as the appetite for more sophisticated AI grows, so too do the challenges associated with training these complex models. One of the most significant hurdles is the limited availability and quality of training data. Additionally, the computational resources required to process this data and train AI models are substantial, raising concerns over costs and energy consumption. Furthermore, ensuring the robustness of AI models to function reliably in diverse and often unpredictable real-world scenarios remains a paramount concern. This paper aims to dissect these critical challenges, explore the implications of current practices, and highlight innovative solutions that could redefine the future landscape of AI training. By understanding and overcoming these barriers, we can pave the way for more efficient, equitable, and sustainable AI development.

Artificial Intelligence training is confronted with critical challenges such as data scarcity, computational expenses, robustness, and complexity of models. This abstract discusses the implications of data scarcity and quality on AI training, the robustness of AI models, financial and environmental cost. It further examines the trade-offs between model complexity and performance, addressing the need for efficient algorithms that can operate with limited data while still ensuring model accuracy. Environmental concerns are also highlighted, as AI's carbon footprint becomes a growing issue, urging the development of more energy-efficient computing techniques. The financial implications are vast, encompassing not only the direct costs of hardware and electricity but also the investment in research and development of innovative solutions to these challenges. Overall, this discussion aims to shed light on the multifaceted nature of AI development and the necessity for a balanced approach to its advancement.

The main part. A primary obstacle in AI training is the scarcity of high-quality, annotated datasets[1]. These datasets are the bedrock upon which machine learning models learn and develop an understanding of the world. When data is scarce, unrepresentative, or biased, it can lead to models that perform poorly or unfairly when deployed. Diverse and extensive datasets are particularly critical for deep learning models, which require vast amounts of data to achieve high levels of accuracy. Moreover, the creation and maintenance of such datasets are often resource-intensive and can be constrained by privacy concerns and data protection regulations. To mitigate these issues, researchers have turned to synthetic data

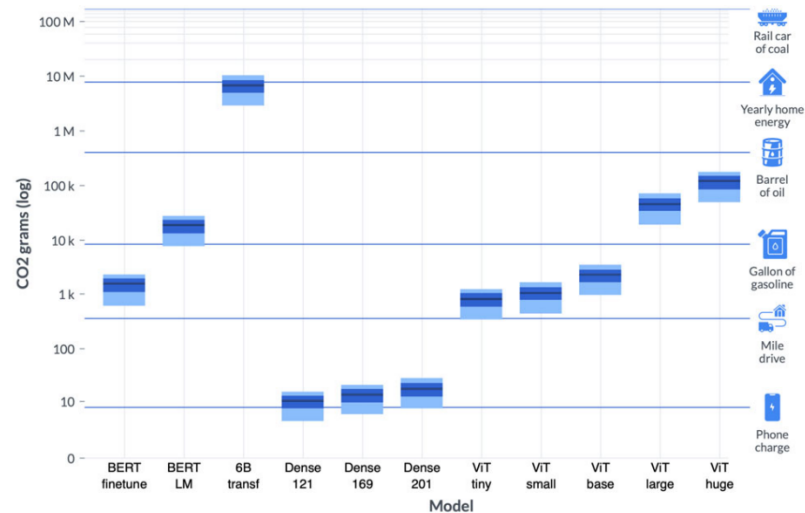
generation and data augmentation techniques. Synthetic data, created through simulations or generative models, can expand training datasets and introduce a wider range of scenarios that may not be present in the original data. Data augmentation[3], which involves altering existing data to create new variations, enhances the diversity within a dataset without the need to collect new data.

These methods not only augment the quantity of data available but also improve the robustness and generalizability of AI models. Further, the adoption of federated learning approaches allows for the utilization of decentralized data, enabling the model to learn from a wide array of sources while maintaining data privacy. Transfer learning is another strategy that leverages pre-trained models on large datasets to perform new tasks with limited data. This not only conserves resources but also accelerates the development cycle of AI models. The challenges of data scarcity are not solely technical but also ethical and legal. Responsible AI development necessitates adherence to ethical guidelines and legal frameworks, particularly regarding data privacy and the potential biases in AI systems. Continuous efforts in developing fair, accountable, and transparent AI systems are crucial to address these concerns. As the field advances, interdisciplinary collaboration becomes key, with insights from social sciences, law, and ethics guiding the responsible creation and use of AI technologies. Each of the mentioned approaches has its pros and cons (table 1).

Table 1. Comparison of dataset enhancement techniques

Technique	Pros	Cons	Best Use Cases
Synthetic Data Generation	Generates large datasets, Useful when real data is limited or unavailable	May not accurately represent real-world scenarios	Scenarios with limited or sensitive real data
Data Augmentation	Enhances dataset variety, Improves model generalization	Can introduce noise, Limited by original data diversity	Image and speech recognition tasks
Transfer Learning	Leverages pre-trained models, Reduces training time and resources	May carry biases from source data, Limited by relevance of pre-trained models	Tasks with similar data to pre-trained models
Semi-Supervised Learning	Utilizes both labeled and unlabeled data, Reduces labeling costs	Dependent on quality of labeled data, Complex implementation	Large datasets with limited labeled data

Training state-of-the-art AI models typically demands substantial computational power, which can be cost-prohibitive and environmentally unsustainable. The carbon footprint of training a single deep learning model can be equivalent to the lifetime emissions of several cars (picture 1). The financial cost of these computations is also significant, often running into thousands or even millions of dollars for cutting-edge models, limiting the ability to train such models to well-funded organizations. This creates a barrier to entry for smaller entities and can stifle innovation. Efforts to reduce computational costs include the development of more efficient neural network architectures that require less processing power without compromising performance. For example, techniques such as pruning[4], quantization, and knowledge distillation can reduce the size of a neural network and its computational needs. Moreover, there is a push towards utilizing cloud-based platforms and specialized hardware such as tensor processing units (TPUs) and field-programmable gate arrays (FPGAs), which can offer better performance for AI-specific computations. Companies are also exploring the use of renewable energy sources to power data centers, seeking to mitigate the environmental impact of large-scale computation. Despite these advances, the quest for more computationally efficient AI training methods continues, as the demand for AI capabilities grows in tandem with global computational infrastructure.



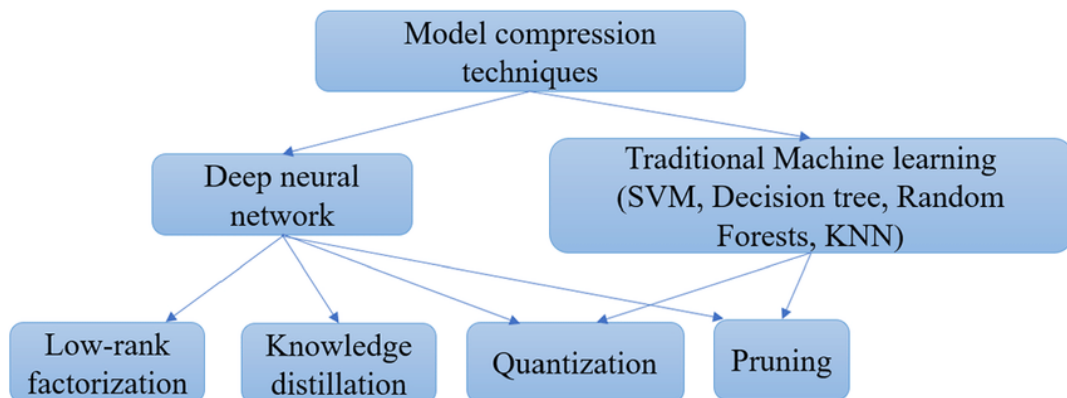
Pic. 1. Carbon footprint of AI models

Achieving robustness in AI models means ensuring they make reliable and accurate predictions, even when faced with new and unforeseen data in real-world applications. To combat this, techniques such as regularization and cross-validation[2] are employed to improve generalization. Regularization methods, like dropout or L1 and L2 regularization, discourage complex models that can overfit by adding a penalty to the loss function during training. Moreover, recent advances in machine learning focus on transfer learning and few-shot learning, where a model trained on one task is adapted to perform different but related tasks with limited additional data. This approach leverages pre-existing knowledge and can greatly reduce the amount of data required for training robust models. Another promising area is adversarial training, where models are deliberately exposed to challenging conditions during training, such as inputs designed to confuse the model. This can help AI systems become more resilient to errors and adversarial attacks when deployed in the real world. Ensuring robustness in AI models is not only critical for maintaining performance standards but also for building trust with users. When people understand that an AI system can handle a wide array of scenarios reliably, they are more likely to adopt it in their daily lives and work.

The complexity of artificial intelligence models, especially those based on deep learning, often results in a lack of interpretability, which is a significant issue for applications where understanding the decision-making process is crucial. The so-called "black box" nature of these models can hinder their adoption in fields that require transparent decision-making, such as healthcare and justice. Interpretable AI seeks to address this by creating models whose workings can be understood by humans. This involves developing methods that can explain, in human terms, how a model arrived at a particular decision or prediction. Techniques like feature importance scores, which highlight which inputs most influenced the output, and model-agnostic methods, which can be applied to any machine learning model to increase transparency, are key tools in this endeavor. There's also a push for "explainable AI" (XAI), where the goal is not only to make AI decisions more transparent but also to provide explanations that are meaningful to the end-users. This could involve visual explanations, textual rationales, or even interactive interfaces that allow users to query the model and understand the rationale behind specific decisions. Ensuring the interpretability of AI models is essential not just for trust and adoption, but also for regulatory compliance. As laws and regulations begin to demand greater accountability in automated decision-making, the ability to interpret and explain AI models becomes increasingly important.

To tackle the challenges discussed above, there are few innovations. Meta-learning, or "learning to learn," which involves training a model on a variety of learning tasks, such that it can solve new learning tasks using only a small number of training samples. Meta-learning models are particularly promising for their ability to adapt quickly to new and varied datasets. Another one is development of transfer learning frameworks, where a model developed for a particular task is reused as the starting point for a model on a second task. This approach has significantly reduced the amount of data and computation needed to develop effective models. Neural architecture search (NAS) is also an area of active research, automating the design of neural networks to discover the best-performing models for a given dataset, which can result in more efficient and less computationally expensive architectures. Another approach gaining traction is meta-

learning, or "learning to learn," which involves training a model on a variety of learning tasks, such that it can solve new learning tasks using only a small number of training samples. Meta-learning models are particularly promising for their ability to adapt quickly to new and varied datasets. Efforts in model compression techniques (picture 2), like network pruning, where redundant or non-informative connections are removed without sacrificing accuracy, help in deploying models on edge devices with limited computational capacity. Quantization reduces the precision of the model's parameters, thereby decreasing the size of the model and speeding up inference while maintaining performance. Lastly, reinforcement learning, especially in complex environments, has shown potential for training models that make decisions in dynamic settings, pushing the boundaries of what AI can achieve in real-world applications. These innovations are not only enhancing the capabilities of AI systems but are also crucial for ensuring that the benefits of AI can be realized broadly, democratically, and ethically.



Pic. 2. Model compression techniques

As the capabilities of artificial intelligence (AI) continue to expand, so does the ethical landscape in which these technologies are developed and deployed. AI training processes not only need to be technically sound but also ethically responsible. This section delves into the key ethical considerations that must be integrated into the lifecycle of AI training. One of the most pressing ethical concerns in AI training is the potential for embedded biases within algorithms. Biases can originate from various sources, including prejudiced data sets, biased human annotators, or even the design of the AI system itself. To counteract this, it is imperative to implement diversity and inclusion protocols in the data collection and model training phases. Ensuring that datasets are representative of all demographics and that AI systems are tested for fairness across different groups is crucial. AI systems often operate as "black boxes," with decision-making processes that are opaque to users and stakeholders. This lack of transparency can lead to trust issues, especially in critical domains like healthcare or criminal justice. It is essential to develop AI with explainable algorithms, where the decision-making process is clear, understandable, and able to be interrogated. Explainable AI enables accountability and provides insights into how and why certain AI decisions are made. Training AI models frequently involves large volumes of personal data. Protecting the privacy of individuals whose data is used in AI training is a fundamental ethical obligation. Techniques like differential privacy, federated learning, and homomorphic encryption can enable AI training while safeguarding user data. Moreover, adherence to privacy regulations such as the General Data Protection Regulation (GDPR) is not just a legal necessity but an ethical commitment to individual rights. Assigning responsibility for AI decisions is a complex ethical challenge. In cases where an AI system causes harm, it is necessary to have clear lines of accountability. This includes the developers, the data scientists, the companies deploying the AI, and even the regulatory bodies. As AI systems become more autonomous, the mechanisms for accountability must evolve to ensure that moral and legal responsibility is clearly defined and enforced. AI technologies can have profound effects on society. They can influence job markets, personal freedoms, and social interactions. Ethical AI training must consider the long-term societal impacts, striving to minimize potential harm and maximize benefits. This involves engaging with various stakeholders, including policymakers, to ensure that the deployment of AI aligns with societal values and contributes positively to the community. AI should be designed with the end-user in mind, ensuring that human dignity is respected and that AI acts to augment rather than replace human capabilities. This involves understanding the context in which AI operates and designing systems that enhance human decision-

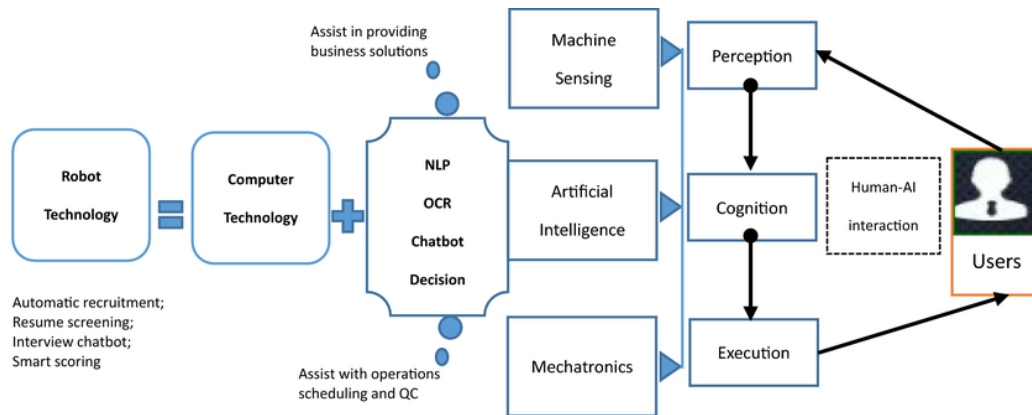
making, provide valuable assistance, and remain under human oversight. Addressing the ethical dimensions of AI training requires an interdisciplinary approach. Collaboration among technologists, ethicists, legal experts, sociologists, and other stakeholders is essential. This collective effort can help in formulating guidelines, frameworks, and best practices that align AI advancements with ethical standards. Ethical considerations in AI training are not a one-time effort but require ongoing attention. As AI systems are deployed and begin to interact with the real world, continuous monitoring is essential to ensure that they operate as intended and that any emergent ethical issues are promptly addressed.

Human-AI interaction (picture 3) and the ensuing feedback loops are pivotal in the training of artificial intelligence (AI) systems. This dynamic shapes the AI's learning process, ensuring that the systems we develop are not only technically competent but also aligned with human intent and usability. This section explores the facets of human-AI interaction and the importance of feedback mechanisms in AI training. AI systems are designed to serve human needs, and thus, incorporating human feedback is essential. Human input provides the contextual nuances that raw data cannot capture, guiding AI systems to better understand and interact with the world as humans do. This involves iterative processes where human trainers provide continuous feedback to AI systems, refining their outputs and enhancing their decision-making capabilities. Interactive machine learning is a paradigm where AI training involves a real-time feedback loop with human users. In this framework, the AI system learns directly from human interaction, adapting to corrections and suggestions. This approach can significantly improve the learning rate and the relevance of the AI's outputs to real-world applications. The design of AI systems must prioritize user experience, ensuring that interactions are intuitive, efficient, and satisfying. Incorporating principles of human-computer interaction (HCI) into AI training helps in creating systems that are user-friendly and accessible to a broad audience. This includes the design of interfaces, feedback mechanisms, and interaction protocols that are user-centered. Feedback loops are integral to refining AI models.

They allow for the incremental improvement of AI behavior through cycles of performance review and adjustment. By analyzing how humans interact with AI systems and the issues they encounter, developers can fine-tune models to better meet user expectations and needs. Human feedback must be ethically sourced and utilized, ensuring that it does not perpetuate biases or unethical outcomes. This is particularly important when feedback is used to train AI in sensitive domains, such as personalization algorithms or content moderation systems. Ethical oversight is necessary to ensure that the feedback used enhances the AI's societal value. Accurate data annotation and labeling by human experts play a crucial role in supervised learning. The quality of human-labeled data directly impacts the AI's performance. Therefore, developing robust and clear guidelines for data annotators is paramount, as is the recognition of the cognitive load and potential biases these human annotators may introduce. Feedback loops contribute to the robustness and adaptability of AI systems. By continuously testing and updating AI systems with new data and human insights, these systems can remain relevant and perform well even as the environment and tasks evolve. Looking forward, the goal is to develop a symbiotic relationship between humans and AI, where each enhances the capabilities of the other. AI systems should not only automate tasks but also provide insights and augment human decision-making. This synergy can lead to breakthroughs in how we solve complex problems and make decisions. In summary, human-AI interaction and feedback loops are foundational to the development of AI systems that are attuned to human needs and behaviors. By embracing these interactions, we can build AI that effectively complements human abilities and becomes an integral and trustworthy component of our daily lives.

Scalability is a cornerstone in the evolution of artificial intelligence (AI) systems from experimental models to real-world applications. The capacity to expand AI functionalities and manage increased loads without sacrificing performance is crucial. This section outlines the challenges and strategies inherent in scaling AI systems. Scalability in AI refers to the ability to maintain or improve performance as the size of the dataset and complexity of tasks increase. An AI system's scalability is determined by its architecture, the efficiency of algorithms, and the adaptability of its learning capabilities. Scaling AI systems involves technical, computational, and practical considerations to meet growing demands. As AI systems scale, they require more data to maintain accuracy and functionality. Efficient data management becomes critical, necessitating robust databases, data pipelines, and storage solutions. This also involves ensuring data quality and integrity throughout the AI lifecycle. Scaling AI systems often means increased computational demands. Optimizing resource allocation is essential to avoid bottlenecks and ensure timely processing. This may involve leveraging cloud resources, distributed computing, and edge computing solutions to

manage computational loads effectively. Deploying AI models to serve predictions at scale is a multifaceted challenge. It requires reliable model serving architectures that can handle high throughput and low latency demands. Techniques like model quantization and optimization are vital for efficient model deployment, especially in resource-constrained environments. As AI systems scale, the complexity of the models and the number of parameters often increase. Managing this complexity without compromising the speed or accuracy of the system requires innovative approaches to model design, such as modular architectures and hierarchical systems that can distribute the workload.



Pic. 3. Human AI interaction

Scalable AI systems must be capable of continuous learning, adapting to new data without the need for frequent retraining from scratch. Incremental learning and online learning algorithms enable AI systems to update their knowledge base continuously, making them more resilient to changes over time. Automating the deployment, monitoring, and management of AI systems is crucial for scalability. Orchestration tools and platforms can help manage the lifecycle of AI applications, including version control, testing, and continuous integration/continuous deployment (CI/CD) pipelines. Considering scalability at the outset of AI system design can preempt many of the challenges encountered during expansion. Designing with scalability in mind involves selecting the right algorithms, data structures, and infrastructure that can grow with the system's needs. As AI systems scale, so do their ethical and governance implications. It is vital to establish guidelines and monitoring mechanisms to ensure that the AI remains fair, transparent, and accountable, even as it grows in scope and influence. Ensuring the scalability of AI systems is not just a technical challenge; it is also about democratizing access to AI. Scalable systems can provide AI benefits to a broader range of users and developers, fostering innovation and inclusivity in the AI field.

The pursuit of leveraging artificial intelligence (AI) for social good is an inspiring facet of AI development. This section examines how AI can be a force for positive change, addressing societal challenges and enhancing the well-being of communities globally. AI has transformative potential in healthcare, from improving diagnostic accuracy to personalizing treatment plans. Machine learning models can analyze medical images, predict disease outbreaks, and optimize resource allocation in hospitals. AI-driven initiatives can bridge the gap in healthcare services, especially in underserved regions, by providing scalable solutions like telemedicine and AI-assisted diagnostics. Educational technologies powered by AI can provide personalized learning experiences, adapt to individual student needs, and identify gaps in knowledge. By analyzing data on how students learn, AI can assist in creating more effective educational content and teaching strategies, making quality education more accessible. AI applications are proving to be invaluable in environmental conservation, from monitoring wildlife populations to predicting climate change impacts. AI can optimize energy consumption, reduce waste through smart recycling systems, and assist in the design of sustainable infrastructures. The predictive power of AI aids in disaster response and management, providing critical information to mitigate the effects of natural calamities. AI is revolutionizing social services by enhancing the efficiency and reach of aid programs. Predictive models can identify areas of need, optimize the distribution of resources, and monitor the effectiveness of social interventions. AI tools can also assist in combating human trafficking and support legal aid services, providing support to the most vulnerable populations. AI-driven financial technologies can enable financial inclusion, providing access to credit and banking services for the unbanked. AI can also help small

businesses with market insights, automate administrative tasks, and offer personalized advice to foster economic growth in developing regions. AI has the potential to promote equality and inclusion by identifying and combating discriminatory practices. It can help in developing policies that ensure fair treatment across all sectors of society and assist in monitoring the enforcement of these policies. While AI has the potential to contribute significantly to social welfare, it is crucial to approach its deployment ethically. This includes ensuring the privacy of individuals, avoiding biases in decision-making, and engaging with stakeholders to understand the social context of AI applications. Realizing the potential of AI for social good requires collaboration between technologists, policymakers, non-profits, and community organizations. These partnerships ensure that AI solutions are grounded in real-world needs and are implemented responsibly. To understand the effectiveness of AI in social good initiatives, robust frameworks for measuring impact are essential. This involves setting clear objectives, collecting relevant data, and using AI itself to analyze the success and areas for improvement in various projects.

Summary.

The journey of training artificial intelligence systems is fraught with significant challenges, from the scarcity of quality data to the computational resources required and the need for robust and interpretable models. This paper has outlined the complexity of these challenges while also highlighting the innovative solutions that are emerging within the field. As AI continues to evolve, the importance of addressing these challenges head-on grows. The future of AI training lies in the balance of leveraging cutting-edge techniques to reduce data and computational demands and in ensuring the ethical and equitable development of technology. Embracing solutions such as transfer learning, meta-learning, and efficient model architectures will be crucial in democratizing AI, making it accessible to a wider range of users and developers. At the same time, the AI community must strive to make these systems as transparent and interpretable as possible, fostering trust and understanding among the public.

Список бібліографічного опису

1. Conditional Synthetic Data Generation for Robust Machine Learning Applications with Limited Pandemic Data / H. P. Das et al. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/354597494_Conditional_Synthetic_Data_Generation_for_Robust_Machine_Learning_Applications_with_Limited_Pandemic_Data (date of access: 09.11.2023).
2. Bex T. 5 Powerful Cross-Validation Methods to Skyrocket Robustness of Your ML Models. Medium. URL: <https://pub.towardsai.net/5-powerful-cross-validation-methods-to-skyrocket-robustness-of-your-ml-models-5edaab564cd8> (date of access: 09.11.2023).
3. Carneiro G., Santana E., R. Cordeiro F. A Study on the Impact of Data Augmentation for Training Convolutional Neural Networks in the Presence of Noisy Labels. URL: https://www.researchgate.net/publication/362907986_A_Study_on_the_Impact_of_Data_Augmentation_for_Training_Convolutional_Neural_Networks_in_the_Presence_of_Noisy_Labels (date of access: 18.11.2023).
4. Neural Network Pruning by Cooperative Coevolution. Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-22). URL: <https://www.ijcai.org/proceedings/2022/0667.pdf> (date of access: 09.11.2023).
5. Mirzsoleiman B., Yu Liu T. Data-Efficient Augmentation for Training Neural Networks. URL: https://www.researchgate.net/publication/364443224_Data-Efficient_Augmentation_for_Training_Neural_Networks.

References

1. Conditional Synthetic Data Generation for Robust Machine Learning Applications with Limited Pandemic Data / H. P. Das et al. ResearchGate. URL: https://www.researchgate.net/publication/354597494_Conditional_Synthetic_Data_Generation_for_Robust_Machine_Learning_Applications_with_Limited_Pandemic_Data (date of access: 09.11.2023).
2. Bex T. 5 Powerful Cross-Validation Methods to Skyrocket Robustness of Your ML Models. Medium. URL: <https://pub.towardsai.net/5-powerful-cross-validation-methods-to-skyrocket-robustness-of-your-ml-models-5edaab564cd8> (date of access: 09.11.2023).
3. Carneiro G., Santana E., R. Cordeiro F. A Study on the Impact of Data Augmentation for Training Convolutional Neural Networks in the Presence of Noisy Labels. URL: https://www.researchgate.net/publication/362907986_A_Study_on_the_Impact_of_Data_Augmentation_for_Training_Convolutional_Neural_Networks_in_the_Presence_of_Noisy_Labels (date of access: 18.11.2023).
4. Neural Network Pruning by Cooperative Coevolution. Thirty-First International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-22). URL: <https://www.ijcai.org/proceedings/2022/0667.pdf> (date of access: 09.11.2023).
5. Mirzsoleiman B., Yu Liu T. Data-Efficient Augmentation for Training Neural Networks. URL: https://www.researchgate.net/publication/364443224_Data-Efficient_Augmentation_for_Training_Neural_Networks.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-07>

UDC 004.056:654.9:681.5

Dymova Hanna, Candidate of Technical Sciences, Phd., Associate Professor<https://orcid.org/0000-0002-5294-1756>

Kherson State Agrarian and Economic University, Kherson, Ukraine

APPLICATION OF FAST FOURIER TRANSFORM TO THE SPEECH SIGNALS SCRAMBLING

Dymova H. Application of Fast Fourier Transform to the Speech Signals Scrambling. The article is devoted to the closure of speech signals by implementing a fast Fourier transform in a bandpass scrambler. The most radical measure to prevent the interception of speech signals is the use of cryptographic security methods. The first technical security systems began to be developed immediately after the invention of the telephone. The main goal when developing speech transmission systems is to preserve those characteristics that are most important for the listener to perceive. Communication security in the transmission of voice messages is based on the use of a large number of different methods of blocking signals that change the characteristics of speech in such a way that it becomes illegible and unrecognizable to attackers who listen to or intercept the closed voice message. The choice of closure methods depends on the specific application and the technical characteristics of the transmission channel. That is, technical channels of information leakage are a source of information for technical intelligence, which extracts information using technical means. Therefore, the problem of protecting information from technical intelligence is of particular relevance. The object of the study is the transmission of voice messages. The subject of the research is real-time speech closing systems. The purpose of the paper is to use fast Fourier transform to close speech signals in a bandpass scrambler. To do this, it is necessary to assess the capabilities of technical intelligence to intercept information of limited distribution; analyze types of speech signal closing systems.

The paper presents a block diagram of a combined scrambler, an algorithm for rearranging input signal values using the fast Fourier transform, and hashing functions that are used to obtain a speech signal from a combined scrambler. It has been determined that "through-window" scramblers are the most reliable, and for greater levels of closure, combination scramblers should be used. The task set for further development of the topic is the development of a software application for the operation of streaming data encryption methods in real time.

Keywords: speech signal, reconnaissance object, hash function, combined scrambling, fast Fourier transform, communication channel.

Димова Г.О. Скремблювання мовних сигналів за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Стаття присвячена закриттю мовних сигналів шляхом реалізації в смуговому скремблері швидкого перетворення Фур'є. Найбільш радикальною мірою запобігання прослуховування мовних сигналів є використання криптографічних методів захисту. Перші технічні системи захисту почали розроблятися відразу після винайдення телефону. Головною метою при розробці систем передачі мови є збереження тих її характеристик, що найбільш важливі для сприйняття слухачем. Безпека зв'язку при передачі мовних повідомлень ґрунтується на використанні великої кількості різних методів закриття сигналів, що змінюють характеристики мови таким чином, що вона стає нерозбірливою і невпізною для злоумисників, які прослуховують або перехватили закриті мовні повідомлення. Вибір методів закриття залежить від виду конкретного застосування і технічних характеристик каналу передачі. Тобто технічні канали витоку інформації є джерелом інформації для технічної розвідки, що здійснює добування інформації за допомогою технічних засобів. Тому проблема захисту інформації від технічної розвідки має особливу актуальність. Об'єктом дослідження є передача мовних повідомлень. Предметом дослідження є системи закриття мови в реальному часі. Метою статті є використання швидкого перетворення Фур'є для закриття мовних сигналів в смуговому скремблері. Для цього необхідно оцінити можливості технічних розвідок з перехоплення інформації обмеженого поширення; проаналізувати види систем закриття мовних сигналів

В роботі приведена структурна схема комбінованого скремблера, алгоритм перестановки значень вхідного сигналу за допомогою швидкого перетворення Фур'є та функції хешування, які використовуються для отримання мовного сигналу з комбінованого скремблера. Визначено, що найбільш надійними є скремблери з "накрізним вікном", а для більшого рівня закриття слід застосовувати комбіновані скремблери. Поставлена задача для подальшого розкриття теми – розробка програмного додатку роботи потокових методів шифрування даних в реальному часі.

Ключові слова: мовний сигнал, об'єкт розвідки, хеш-функція, комбіноване скремблювання, швидке перетворення Фур'є, канал зв'язку.

Formulation of the problem. Protection of information from leakage through technical channels is a set of organizational, organizational, technical and technical measures that exclude or weaken the uncontrolled release of confidential information outside the controlled area.

Information leakage is based on the uncontrolled transfer of confidential information using acoustic, light, electromagnetic, radiation and other fields and material objects, at the attempt of an intruder [1].

The causes and conditions of information leakage, despite all their differences, have much in common.

The reasons for information leakage are usually associated with imperfect standards for storing information, as well as violation of these standards (including imperfect ones), deviations from the rules

for handling relevant documents, technical means, product samples and other materials containing confidential information.

The conditions include various factors and circumstances that arise in the process of scientific, production, advertising, publishing, reporting, information and other activities of the enterprise and create the preconditions for information leakage. Such factors and circumstances may include, for example:

- insufficient knowledge by enterprise employees of information protection rules and lack of understanding of the need for their careful compliance;
- use of uncertified technical means for processing confidential information;
- weak control over compliance with information protection rules by legal, organizational and engineering measures;
- turnover of personnel, including those with confidential information.

Thus, most of the reasons and conditions that create the preconditions and possibility of information leakage arise due to shortcomings of enterprise managers and their employees.

In addition, information leakage is facilitated by:

- natural disasters (storm, hurricane, tornado, earthquake, flood);
- unfavorable external environment (thunderstorm, rain, snow);
- disasters (fire, explosions);
- malfunctions, failures, accidents of technical means and equipment.

Technical channels of information leakage are a source of information for technical intelligence, which extracts information using technical means [2]. It is believed that technical intelligence accounts for more than 50% of all information obtained. Therefore, the problem of protecting information from technical intelligence is of particular relevance.

Research analysis. Unmasking signs of objects in the speech wavelength range are divided into direct and indirect. Direct demassing signs include acoustic fields and waves created by a speech signal. Indirect demassing features include the spatial coordinates of premises (dedicated or protected), in which speech information that must be protected from technical intelligence means can circulate. In addition, these include the number and composition of professional people located in these premises, the start and end times of negotiations and other characteristics not directly related to the formation of speech signals subject to protection from technical intelligence means [2, 3].

The difference between speech signals and other types of acoustic fields and waves lies in the characteristics and parameters of the emitted speech signals. As a rule, acoustic (linguistic) signals belong to the category of random, therefore they are determined by distributions by level, frequency and time and the corresponding average values by level, dynamic range, spectrum shape, frequency range, distribution of formants by frequency and time correlation of individual sections of speech signals [4, 5]. The main characteristics that make it possible to distinguish a speech signal from other forms of acoustic signals include:

- period (frequency) of the fundamental tone in the time domain;
- spectrum of a speech signal in the frequency domain.

Communication security during the transmission of voice messages is ensured by changes in the characteristics of the language so that it becomes illegible and unrecognizable to attackers who eavesdrop on or intercept a closed voice message. The choice of methods for terminating speech signals depends on the specific use and the characteristics of the transmission channel.

The closure of speech signals is discussed in the works of Doctor of Technical Sciences, Professor G.F. Konakhovich. Speech closure systems differ in quality and degree of secrecy. There are two main methods of closing speech signals, divided by the method of transmission over the communication channel [5]:

- analog scrambling;
- speech sampling followed by encryption.

Presentation of the main material and justification of the obtained results. The combination of time and frequency scrambling can significantly increase the degree of closure of the initial signal. The diagram of the combined scrambler is shown in Fig. 1.

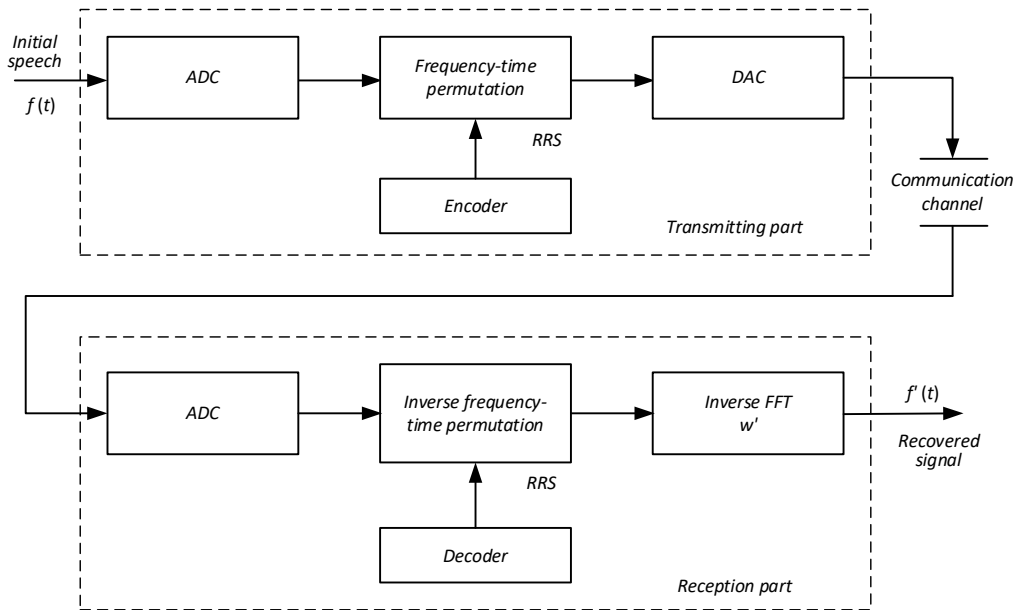


Fig. 1 Block diagram of a combined scrambler

In this scrambler, four digital signal processing processors carry out the operation of time-frequency rearrangements of sampled segments of the output signal. One of the processors implements the function of a random sequence generator (closing system key) [6].

Changing the system key allows you to increase the degree of closure, but requires the introduction of synchronization on the receiving side. Most of the speech signal energy is concentrated in a small region of the low-frequency spectrum (300 to 3500 Hz), so the choice of mixing options is limited.

A significant increase in the degree of tongue closure is achieved by implementing a fast Fourier transform (FFT) in the strip scrambler.

Fast Fourier Transform is an algorithm for quickly calculating the discrete Fourier transform (DFT). Discrete Fourier transform is one of the Fourier transforms widely used in digital signal processing algorithms, as well as in other areas related to the analysis of frequencies in a discrete signal [7].

The expansion of a periodic input signal $f(t)$ with a period of 2π on the main segment $[0, 2\pi]$ into a Fourier series is represented by the relations:

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{jkt} \quad (1)$$

$$C_k = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(t) e^{-jkt} dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) e^{-jkt} dt. \quad (2)$$

We represent the complex number w as:

$$w = e^{-j(2\pi/N)}, \quad (3)$$

where N – number of data.

In this case, in the DFT, the Fourier coefficients for a number of signal values $\{f_0, f_1, f_2, \dots, f_{N-1}\}$ are expressed by the relation [7]:

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} w^{ki} f_i. \quad (4)$$

That is, Fourier coefficients are represented as the product of a matrix of complex numbers on a vector of a series of signal values. Calculating these coefficients is a very complex process, so the use of a fast Fourier transform has been proposed.

FFT is an efficient calculation algorithm using patterns hidden inside the matrix expressing the DFT, that is, if the elements of the matrix are rearranged correctly, the number of multiplication operations will decrease.

In our case, the signal is represented by a series of 4 frequency bands, denoted $\{f_0, f_1, f_2, f_3\}$, then the DFT of this signal can be expressed as the product of a matrix and a signal vector:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w^0 & w^0 & w^0 & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & w^3 \\ w^0 & w^2 & w^4 & w^6 \\ w^0 & w^3 & w^6 & w^9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

If in accordance with Fig. 2, substitute the numerical values of the step series w into the matrix, then the result will be

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -j & -1 & j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} \quad (6)$$

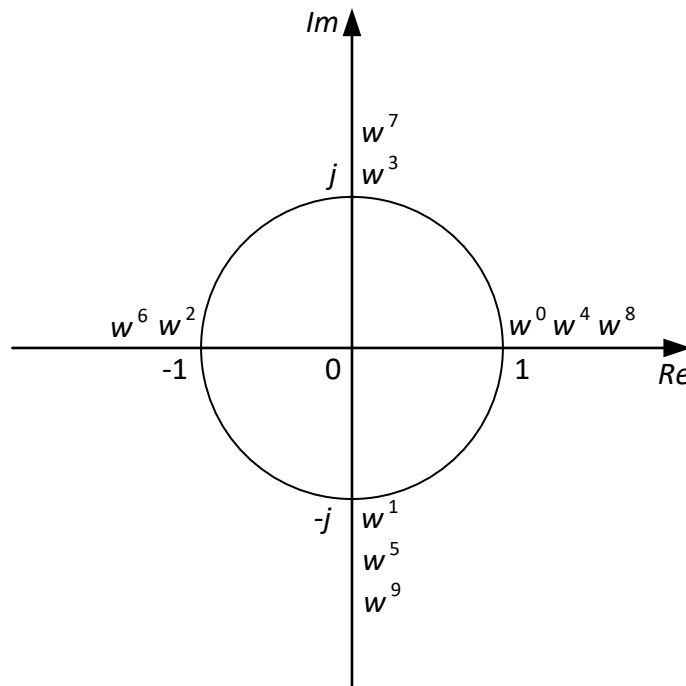


Fig. 2 Step row w for $N = 4$

After this, the matrix elements are replaced. Let us define a special way of representing the product of a matrix and a vector, which is given in the work [7]:

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & f_3 \\ w^0 & w^0 & w^0 & w^0 \\ w^0 & w^1 & w^2 & w^3 \\ w^0 & w^2 & w^4 & w^6 \\ w^0 & w^3 & w^6 & w^9 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Let's change the matrix in the expression (7). Having swapped the columns of the matrix, we divide it into two groups: the group f_0, f_2 , with even data indices, and the group f_1, f_3 with odd data indices. Therefore, we get

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_2 \\ w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 & f_3 \\ w^0 & w^0 \\ w^1 & w^3 \\ w^2 & w^6 \\ w^3 & w^9 \end{bmatrix} \quad (8)$$

The elements of the matrix, which are the second term of expression (8), are represented as $w^{k+1} = w^k w^1$, that is

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_2 \\ w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 & f_3 \\ w^0 w^0 & w^0 w^0 \\ w^1 w^0 & w^1 w^2 \\ w^2 w^0 & w^2 w^4 \\ w^3 w^0 & w^3 w^6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_2 \\ w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 \\ w^1 \\ w^2 \\ w^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 & f_3 \\ w^0 & w^0 \\ w^0 & w^2 \\ w^0 & w^4 \\ w^0 & w^6 \end{bmatrix} \quad (9)$$

From Fig. 2 shows that $w^4 = w^0 = 1$, $w^6 = w^2 = -1$, and also $w^2 = -w^0$, $w^3 = -w^1$. Let's substitute these values into (9) and get

$$\begin{bmatrix} C_0 \\ C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 & f_2 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w^0 \\ w^1 \\ -w^0 \\ -w^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 & f_3 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \\ 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Then the Fourier coefficients have the form:

$$\begin{aligned} C_0 &= f_0 + w^0 f_2 \\ C_1 &= f_0 - w^0 f_2 \\ C_2 &= f_1 + w^0 f_3 \\ C_3 &= f_1 - w^0 f_3 \end{aligned} \quad (11)$$

The described FFT algorithm for permuting signal values is called the sorting technique based on permutation of digits.

After using the FFT algorithm, a hashing algorithm is used for the combined scrambling.

A hashing function (hash function or shortening function) is a data transformation that transforms a bit string M of arbitrary length into a bit string $h(M)$ of some fixed length (several tens or hundreds of bits) [8].

The hash function $h(C)$ must satisfy the following conditions:

- 1) the hash function $h(C)$ must be sensitive to any changes in the input sequence C ;
- 2) for a given value of $h(C)$ it should be impossible to find the value of C ;
- 3) for a given value of $h(C)$ it should be impossible to find a value $C' \neq C$ such that $h(C') = h(C)$.

The situation in which for different input sequences C, C' the values of their hash images coincide: $h(C) = h(C')$ is called a collision [8, 9].

When constructing a hash image, the input sequence C is divided into blocks C_i of fixed length and processed block by block according to the formula

$$H_i = f(H_{i-1}, C_i). \quad (12)$$

The hash value calculated when the last block of the message is entered becomes the hash value of the entire message.

We use a simplified version of the hash:

$$H_i = (H_{i-1} + C_i)^2 \bmod n, \quad (13)$$

where $n = pq$, p and q – large prime numbers;

H_0 – arbitrary initial content;

C_i – i -th message block $C = C_1 C_2 \dots C_k$.

Conclusions and prospects for further research. The article presents a circuit of a combined scrambler, an algorithm for permuting the values of the input signal using the fast Fourier transform and a hashing function used to obtain the speech signal of the combined scrambler.

Scramblers of all types, with the exception of the simplest one (with frequency inversion), introduce distortion into the reconstructed speech signal. Time segment limits compromise signal integrity, which inevitably leads to out-of-band components. Group delays of the out-of-band speech signal in the communication channel also have an undesirable effect. The result of the twisting is an increase in the minimum acceptable signal-to-noise ratio at which reliable communication can occur. But, despite this, the most reliable, in terms of the degree of tongue closure, are scramblers with a “through window”, and for a higher level of closure, combined scramblers should be used. Next, it is planned to develop a software application to study and understand the operation of stream data encryption methods in real time.

Список бібліографічного опису

1. Юдін О.К., Богуш В.М. (2005) Інформаційна безпека держави. Харків: Консул.
2. Антонов В.М., Пермяков О.Ю. (2005) Комп'ютерні мережі військового призначення. Київ: МК-Прес.
3. Антонов В.М. (2005) Сучасні комп'ютерні мережі. Київ: МК-Прес.
4. Конахович Г.Ф. (2004) Системи радіозв'язку. Київ: НАУ.
5. Конахович Г.Ф., Климчук В.П., Паук С.М., Потапов В.Г., Чуприн В.М., Горбунов О.О. (2009) Захист інформації в телекомунікаційних системах: Навчальний посібник. Київ: НАУ.
6. Димова Г.О., Димов В.С. (2018) Генерування випадкових процесів динамічними системами. Прикладні питання математичного моделювання. Том 1 № 2. Херсон., DOI: 10.32782/2618-0340-2018-2-55-64.
7. Сато Ю. (2009) Обробка сигналів. Перше знайомство. URL: https://balka-book.com/obrobka_signaliv-318/obrobka_signaliv_pershe_znayomstvo-1542
8. Димова Г.О. (2021) Аналіз методів оцінки ефективності систем фізичного захисту. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Луцьк. № 45. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-02>
9. Димова, Г. О. (2021). Інформаційний простір об'єкту в системах ідентифікації. Вісник Херсонського національного технічного університету, (4 (79)).

References

1. Yudin O.K., Bohush V.M. (2005) Informatsiyna bezpeka derzhavy [Information security of the state]. Kharkiv: Consul. [in Ukrainian].
2. Antonov V.M., Permyakov O.YU. (2005) Komp'yuterni merezhi viys'kovoho pryznachennya [Military Computer Networks]. Kyiv: MK-Press. [in Ukrainian].
3. Antonov V.M. (2005) Suchasni komp'yuterni merezhi [Modern Computer Networks]. Kyiv: MK-Press. [in Ukrainian].
4. Konakhovych H.F. (2004) Systemy radiozv'yazku [Radio communication systems]. Kyiv: NAU. [in Ukrainian].
5. Konakhovych H.F., Klymchuk V.P., Pauk S.M., Potapov V.H., Chupryn V.M. & Horbunov O.O. (2009) Zakhyst informatsiyi v telekomunikatsiynyykh systemakh: Navchal'nyy posibnyk [Information Security in Telecommunication Systems: Tutorial]. Kyiv: NAU. [in Ukrainian].
6. Dymova H.O., Dymov V.S. (2018) Heneruvannya vypadkovykh protsesiv dynamichnymy systemamy [Generation of random processes by dynamic systems]. Applied problems of mathematical modeling. Volume 1 No. 2. Kherson. DOI: 10.32782/2618-0340-2018-2-55-64.
7. Sato YU. (2009) Obrobka syhnaliv. Pershe znayomstvo [Signal Processing. First acquaintance]. URL: https://balka-book.com/obrobka_signaliv-318/obrobka_signaliv_pershe_znayomstvo-1542. [in Ukrainian].
8. Dymova H.O. (2021) Analiz metodiv otsinky efektyvnosti system fizychnoho zakhystu [Analysis of methods for assessing the effectiveness of physical protection systems]. Computer-integrated technologies: education, science, production. Lutsk. No. 45. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-02>. [in Ukrainian].
9. Dymova H. O. (2021). Informatsiynyy prostir ob'yektu v systemakh identyfikatsiyi [Information space of the object in identification systems]. Bulletin of the Kherson National Technical University, (4 (79)). [in Ukrainian].

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-08>

UDC 004.415.3

Pekh Petro, PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>

Khrystynets Nataliia, PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>

Gubysh Roman, Master Student

Shulgach Volodymyr, Master Student

Lutsk National Technical University, c. Lutsk, Ukraine

SIMULATION OF TWO-STAGE TEMPERATURE REGULATION SYSTEM

Pekh P., Khrystynets N., Gubysh R., Shulgach V. Simulation of two-stage temperature regulation system The article presents the results of the development of the PID controller setting technology using Matlab Simulink tools and the study of the operation process of a closed two-cascade temperature control system based on such controllers. The structural diagrams of the model and the simulation results of the two-cascade system are given.

Keywords: closed regulation system, PID regulator, Matlab Simulink

Пех П.А., Христинець Н.А., Губиш Р.А., Шульгач В.В. Моделювання двоступінчастої системи регулювання температури. В статті наведені результати розроблення засобами Matlab Simulink технології налаштування ПІД-регуляторів та дослідження процесу роботи замкнутої двокаскадної системи регулювання температури на базі таких регуляторів. Наведені структурні схеми моделі та результати моделювання двокаскадної системи.

Ключові слова: замкнута система регулювання, ПІД-регулятор, Matlab Simulink

Formulation of the problem. It is known [1, 2, 3] that a typical functional diagram of a closed temperature control system, which is shown in Figure 1, contains the following elements: a device that sets the signal level, the value of which is actually regulated by the system; control (regulating) device; executive mechanism; object of management; feedback subsystem, an integral component of which are temperature sensors.

The setting device supplies the totalizer with the temperature value $x(t)$, which should be provided by the facility management system. The actual value of the temperature $y(t)$ measured by the sensor is also fed to the adder, but with a minus sign. At the output of the adder, we have the difference of these signals $\varepsilon(t)=x(t)-y(t)$. Depending on the magnitude and sign of this signal, the regulating device generates a control signal $u(t)$, which, after amplification, is fed to the executive mechanism. In turn, the executive mechanism produces a signal $v(t)$, which directly affects the control object. The control object (for example, a room of a smart house) forms the output signal of the system $y(t)$, which is measured by the sensor and fed back to the adder. In the case of a positive value of the signal $\varepsilon(t)=x(t)-y(t)$, the system will try to increase the supply of heat to the house, and, conversely, if the signal $\varepsilon(t)$ is negative, the system will try to decrease the supply of heat to the house.

The task of a closed system of automatic temperature regulation (SAR) is to maintain it at a given level.

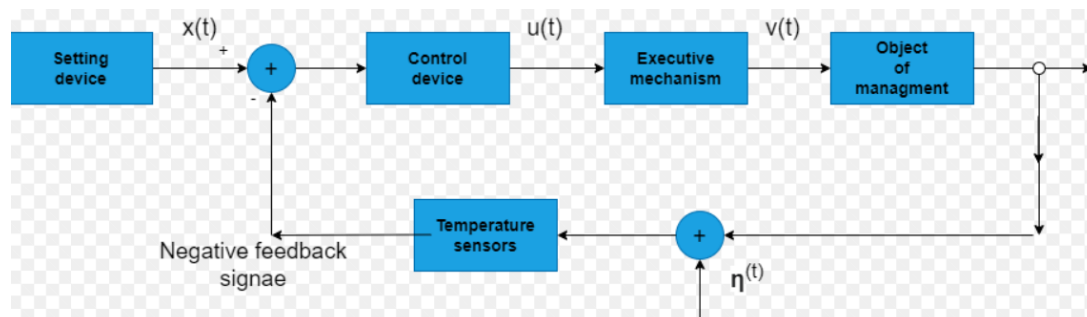


Fig. 1. Functional diagram of a closed temperature control system

As we can see from the description of the temperature control system, its central link is the control device, which in most cases uses PID controllers [5]. The structure of the PID controller is shown in Fig. 2. The PID controller actually combines proportional (P), integral (I) and differential (D) controllers, so the total output signal of the PID controller will depend on the integrated effect of each of these controllers.

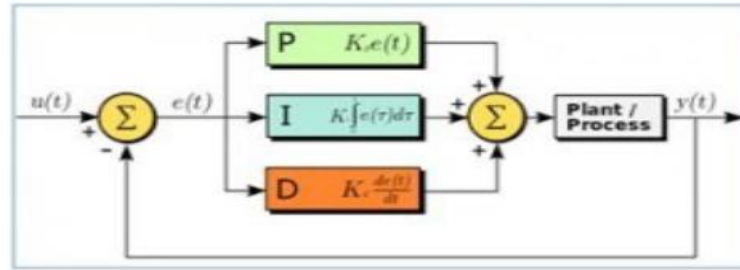


Fig. 2. Structural diagram of the PID controller

The purpose of the research is to develop a technology for adjusting the parameters of PID controllers using Matlab Simulink and to study the process of operation of a closed two-cascade temperature control system based on such controllers.

The novelty of the research consists in the use of Matlab Simulink tools for optimal adjustment of the parameters of PID controllers and the study of the operation of a closed two-cascade temperature control system based on such controllers [4, 5].

Main part. Figure 4 shows the stages of building a two-stage temperature control system. For this, blocks from various Matlab Simulink libraries were used (Fig 3).

Block name	Library name	Graphic representation of the block
Constant	Sources	
Scope	Sinks	
PID Controller	Continues	
Transfer Fcp	Continues	
Transport Delay	Continues	
Gain	Math Operations	
Sum	Math Operations	
In	Ports And Subsystems	
Out	Ports And Subsystems	
Mux	Signal Routing	
Variant Subsystem	Ports And Subsystems	

Fig. 3. Blocks used to build a model of the temperature control system

First of all, the model of the first stage of the two-cascade system was developed (Fig. 4a). The parameters of the blocks of this model were taken as they were offered by the Matlab Simulink program

itself. Surprisingly, the results of its modeling (Fig. 5a) showed that it provides a given value of a given temperature over time. However, a stable model created in this way does not take into account the parameters of a real physical object, and therefore is inherently formal, that is, one that is not related to a specific object.

We configure the model so that it takes into account the parameters of a real physical object. This is achieved by setting such parameters that would correspond to a real object - a room in a smart house. For this purpose, we set the following parameters of the model: the temperature value that the system must maintain, constant value = 20 (Constant block); parameters of the transfer function (block Transfer Fcn) set the parameters of the object numerator coefficients = 0.15, denominator coefficients = [30 1]; the inertia of the object (Transport Value block) sets such a parameter as the delay time Time Delay = 25. The parameters of the PID controller itself remain the previous ones: $P = I = 1$.

As soon as we set the real parameters of the physical object (rooms of a smart house), the simulation results (Fig. 5, b) become disappointing - the system loses stability. The question arises, how to adjust the parameters of the PID controller so that the system becomes stable and best copes with the task of maintaining the temperature at a given level?

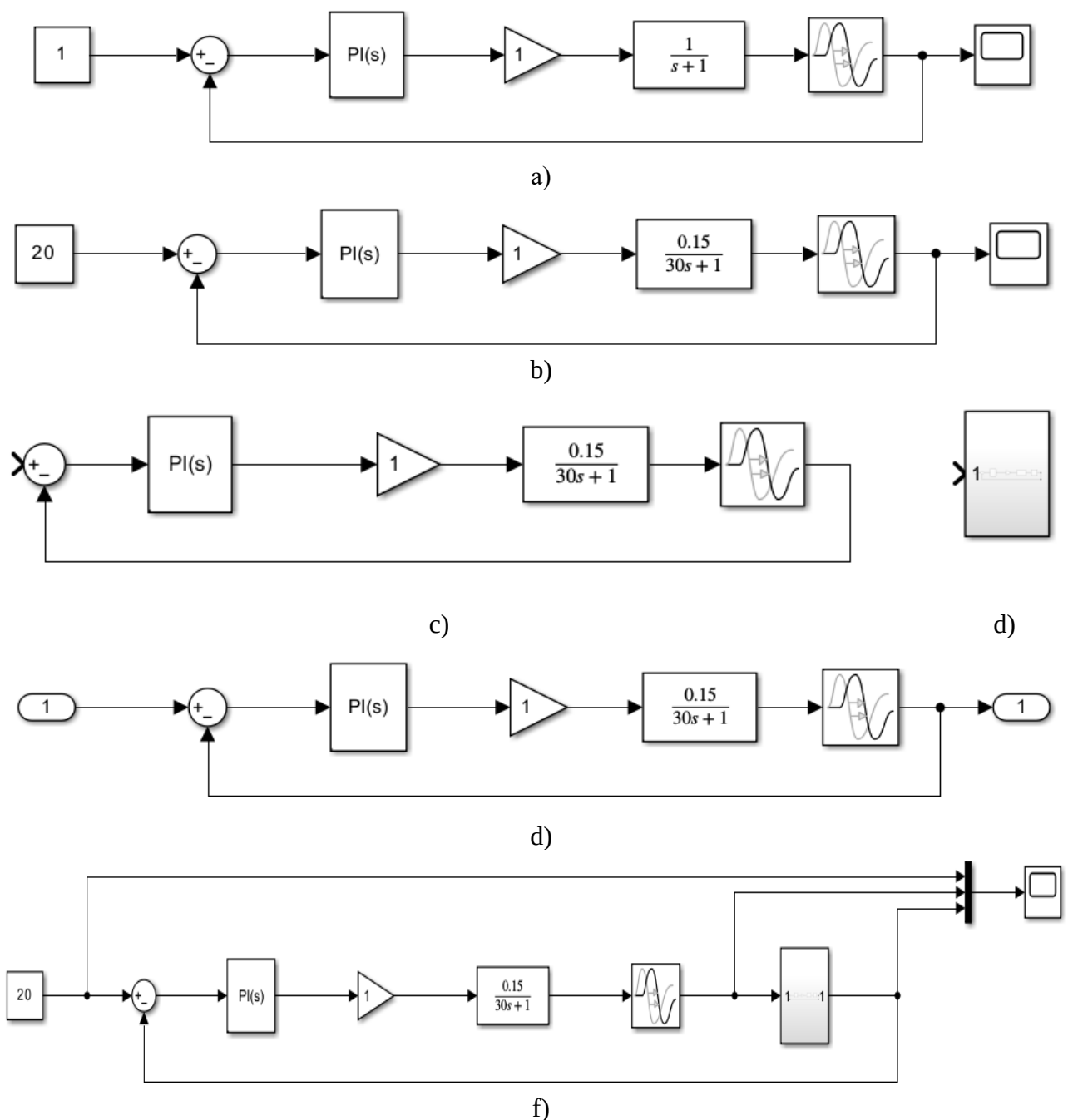


Fig. 4. Stages of construction of a closed two-cascade temperature control system:

- a) One-stage closed temperature control system with standard block parameters.
- b) One-stage closed temperature control system with changed block parameters.
- c) The first stage of the temperature regulation system.
- d) Temperature control subsystem with adjusted parameters.
- e) Internal structure of the temperature control subsystem with adjusted parameters.
- f) Two-stage temperature control system.

For this purpose, we call up the window for setting the parameters of the PID controller (Fig. 6), and press the button Tune... Matlab Simulink offers the approximate parameters of the PID controller (including the parameters of the proportional $P = 5.925$ and integral $I = 0.1546$ components) and demonstrates the corresponding these parameters are the results of simulation (Fig. 7) of system operation.

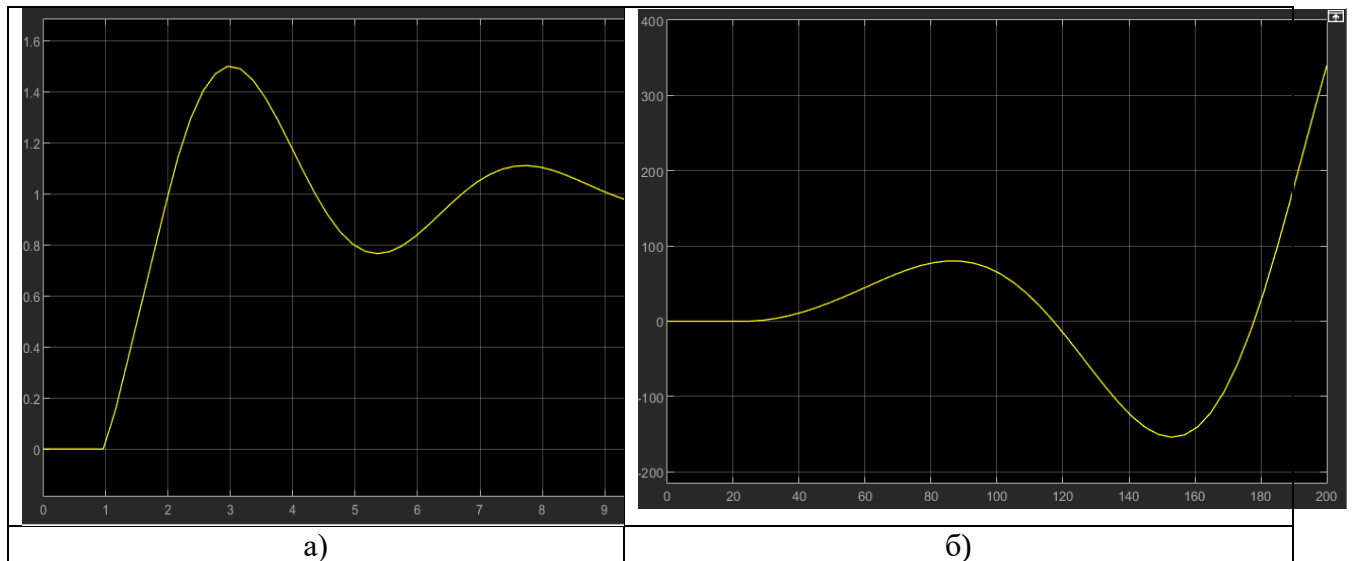


Fig. 5. Simulation results of a single-stage temperature control system:
a) with standard parameters. b) with changed parameters.

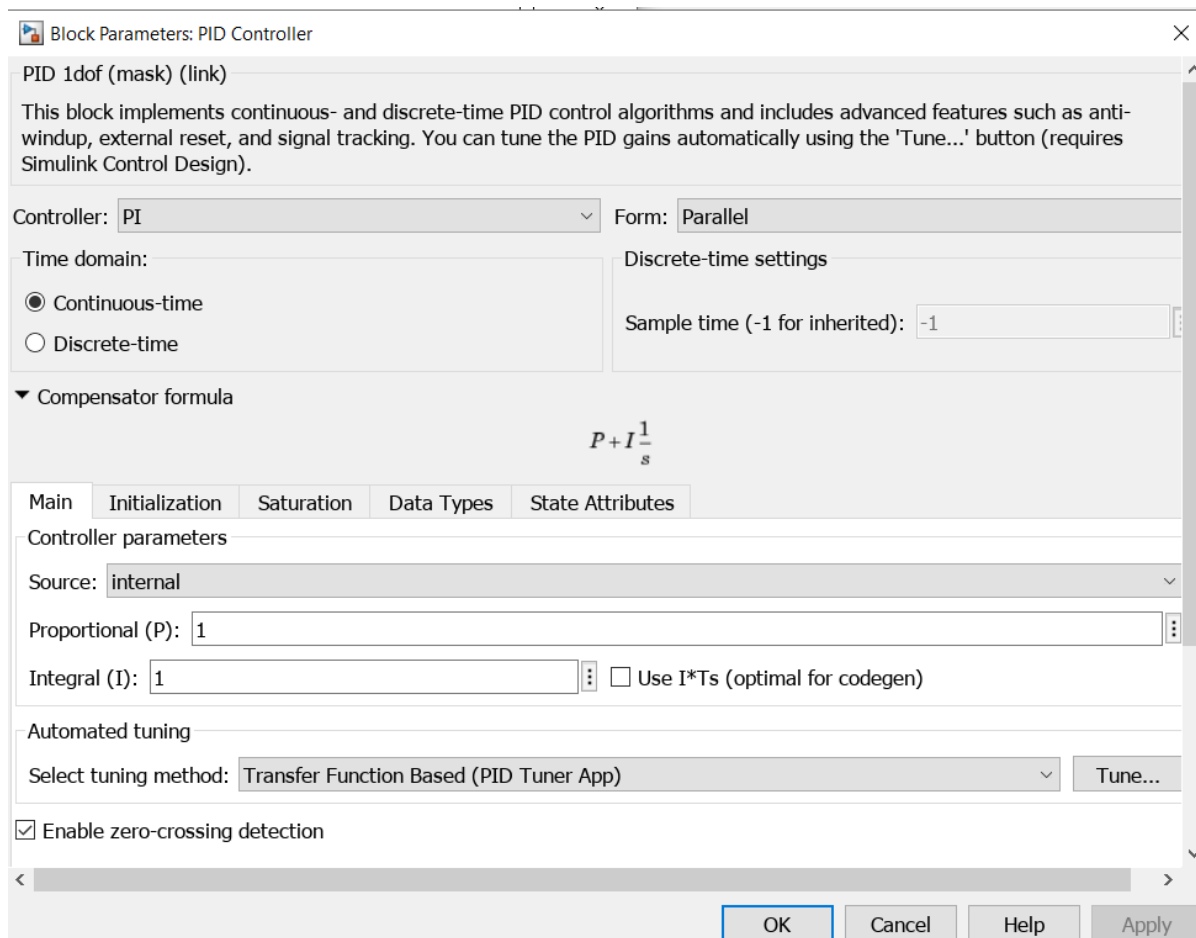


Fig. 6. The window for setting the parameters of the PID regulator

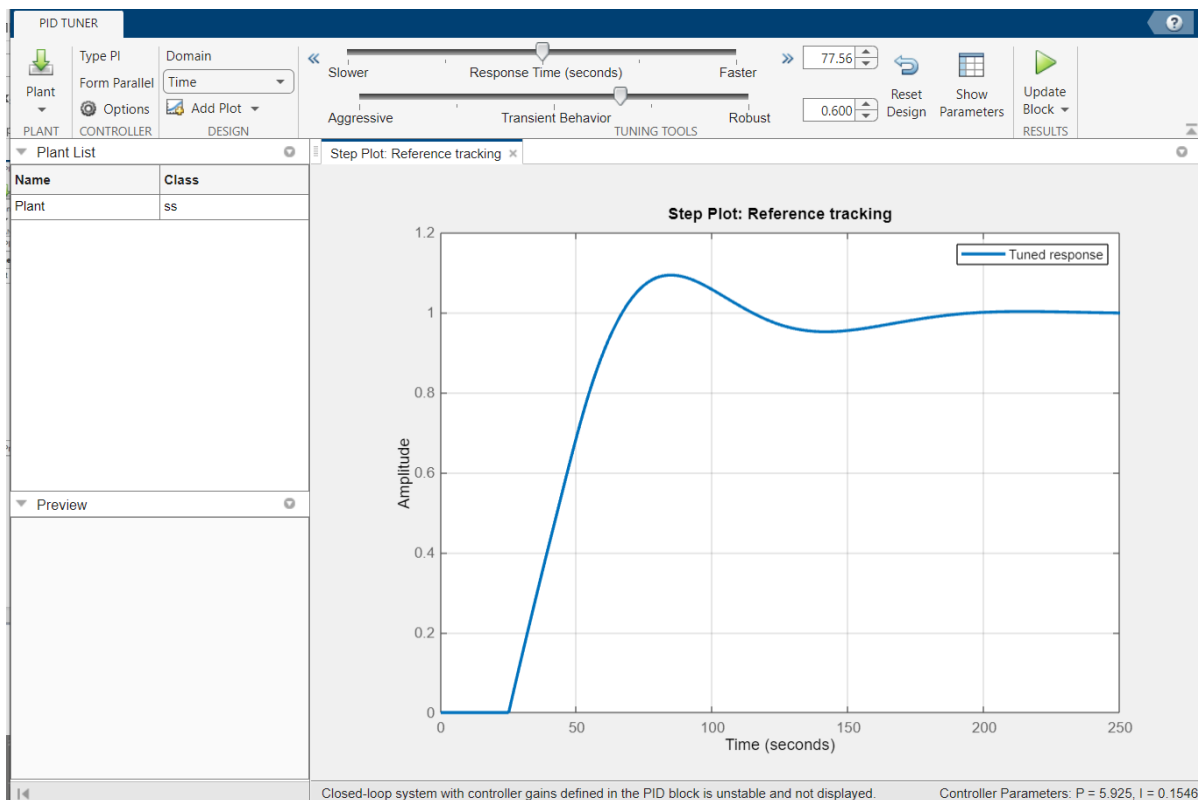
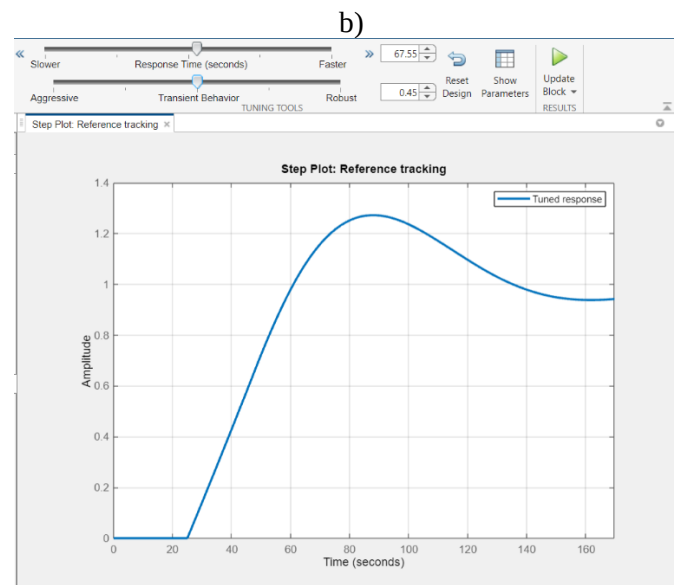
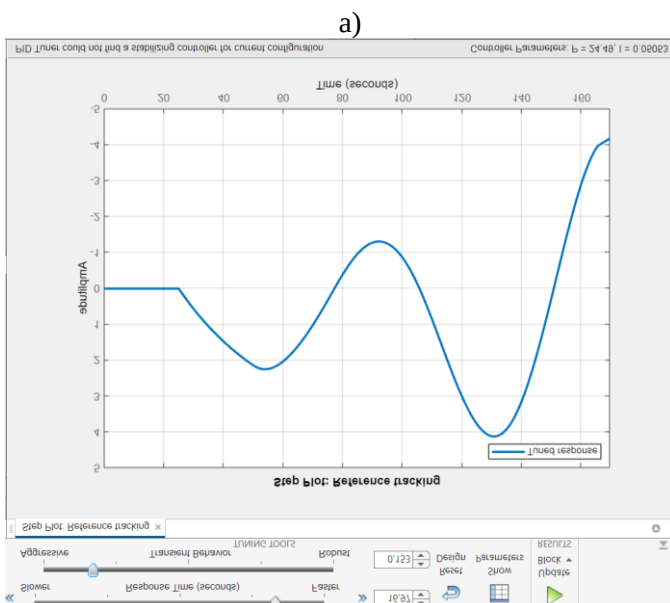
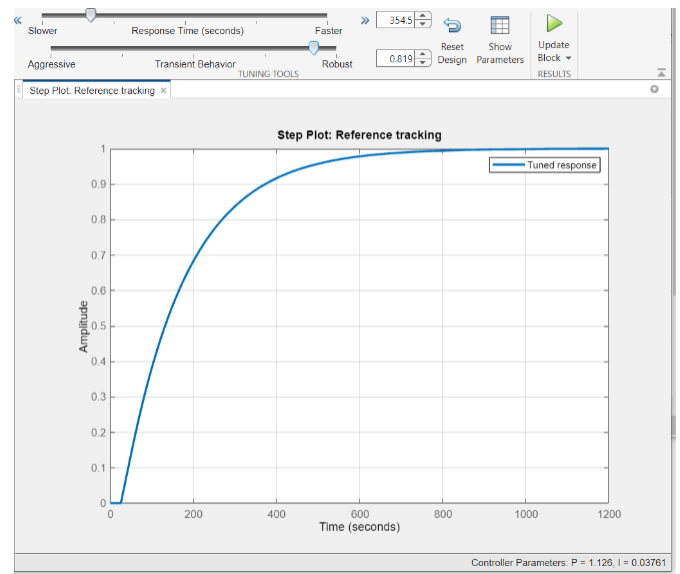
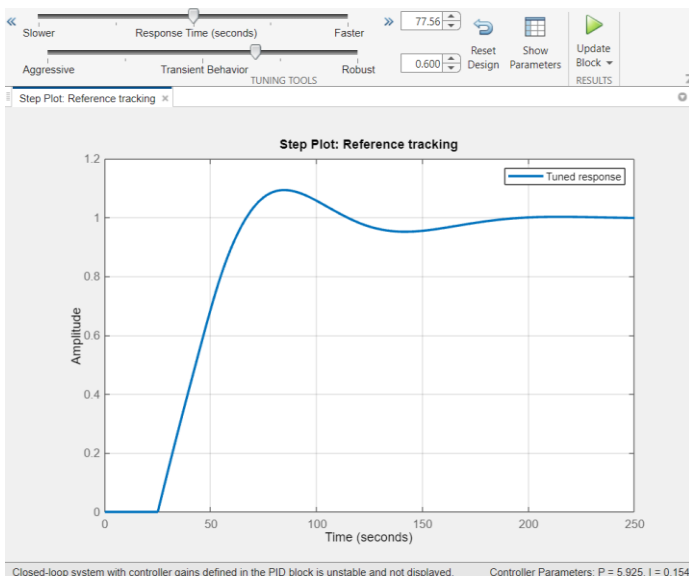


Fig. 7. Window with optimal parameters of the PID regulator and tools for adjustment

With the help of the window (Fig. 6), you can try to set other parameters of the PID controller by moving the Slower and Aggressive sliders to one or another position, but the simulation results of the corresponding systems (Fig. 8, a - 8, d) testify in favor of exactly that option offered by Matlab Simulink. In particular:

- Option 1 (Fig. 8, a). The error of temperature regulation and the time of the transition process are close to the optimal values; but also the parameters of the PID controller are close to the optimal values.
- Option 2 (Fig. 8, b). The system has a transition time that is significantly longer than the optimal value.
- Option 3 (Fig. 8, c). The system loses stability.
- Option 4 (Fig. 8, d). The error of temperature regulation and the time of the transition process are slightly larger than the optimal values.



c)

d)

Fig. 8. Results of manual selection of PID controller parameters:
 a) PID temperature controller with parameters: $P=5.925$; $I=0.154$;
 b) PID temperature controller with parameters: $P=1.126$; $I=0.038$;
 c) PID temperature controller with parameters: $P=24.490$; $I=0.050$;
 d) PID temperature controller with parameters: $P=67.555$; $I=0.045$.

Therefore, returning to the Block Parameters: PID Controller window (Fig. 6), click the Apply button, agreeing that the proposed Matlab Simulink parameters of the PID controller will be applied to our model. So, the first stage of the model is configured optimally.

Let's move on to the creation of the second level of the system. To do this, we turn the first level of the system into a subsystem (Fig. 4, c - 4, e). We create the second stage of the system in the same sequence as the first stage was created. At the output of the second stage, we place the subsystem we created. We feed the output of the subsystem to the Sum block with a minus sign. We display graphs of signals from the master device, from the second stage of the system and the subsystem created by us on the display.

The optimal parameters of the PID controller of the second subsystem are adjusted using the same technology as the parameters of the PID controller of the first subsystem (Fig. 9).

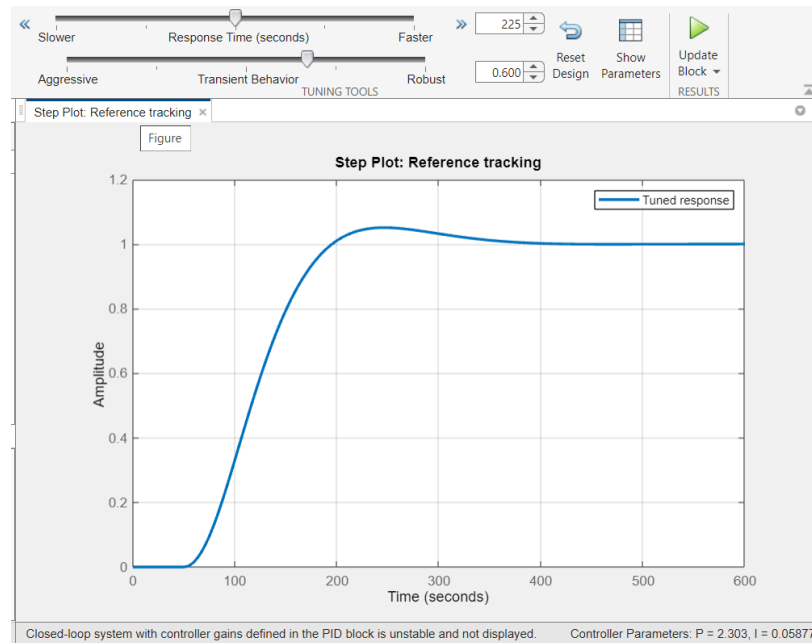


Fig. 9. Results of the optimal selection of the parameters of the PID controller of the second stage

The results of modeling the operation of a closed two-cascade temperature control system with optimal parameters are shown in Figure 10. Analyzing these results, we conclude that the system is stable and efficient, which indicates the successful adjustment of the parameters of its regulators.

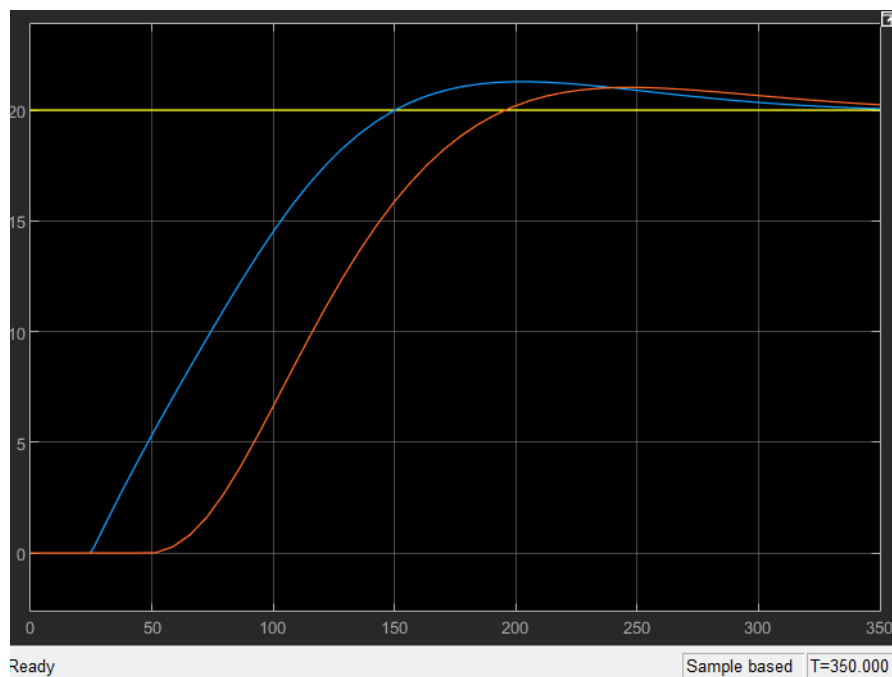


Fig. 10. Results of modeling the operation of a closed two-stage system with optimal parameters

Conclusions. In this article:

1. The proposed technology for setting parameters of PID controllers using Matlab Simulink.
2. Analyzed results of simulation of the operation process of a closed two-cascade temperature control system based on PID controllers

References:

1. Arsenyeva S. I. Use of MATLAB software tools for solving typical problems of analog automation: a study guide for students of higher educational institutions. Zaporizhzhia: NU "Zaporizhia Polytechnic", 2019. 118 p. ISBN 978-617-529-244-0. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/5686/1/The%20textbook_Arsenyeva.pdf (access date May 30, 2023)
2. MATLAB, Simulink, Simpowersystem. Basics of programming: laboratory practice. [Electronic resource]: education. manual for students of the specialty 141 "Electricity, electrical engineering and electromechanics" from the discipline "Packages of applied programs", part I, specialization "Management systems for production and distribution of electric power" / O. I. Tolochko; KPI named after Igor Sikorsky. – Electronic text data (1 file: 8241 kB). Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2019. 226 p. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41937/1/Tolochko_LabRob_PPP_TOI_Ch1_2020.pdf (access date 05/30/2023)
3. Yu.M. Vaskovskiy, Yu.A. Haydenko, S.S. Tsyvinskiy Packages of application programs for modeling electromagnetic fields of electric machines "Using MATLAB and FEMM computer systems of mathematical calculations for the analysis of electric machines" [Electronic resource]: training. manual Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2022 106 p. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49103/1/PPP_MATLAB_FEMM_2022.pdf (date of application 05/30/2023)
4. MATLAB. A Practical Introduction to Programming and Problem Solving. Fifth Edition. Stormy Attaway. Department of Mechanical Engineering Boston University. Boston, 2019. 610 p. URL: http://repo.darmajaya.ac.id/4951/1/MATLAB_%20A%20Practical%20Introduction%20to%20Programming%20and%20Problem%20Solving%2C%205th%20Edition.pdf (date of access 30.05. 2023 .)
5. Pekh P.A. Calculation and modeling methods. Synopsis of lectures. Lutsk: LNTU, 2020. 162 p. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/147258369/3778> (access date May 30, 2023)

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-09>

UDC 004.9:614.2

Radchenko Kostiantyn, assistant<https://orcid.org/0000-0002-1282-6307>**Li Bai**, graduate student<https://orcid.org/0009-0000-3408-348X>**Potapova Ekaterina**, Ph.D., Associate Professor<https://orcid.org/0000-0002-3347-6350>

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», c. Kyiv, Ukraine

RESEARCH OF CRYPTOGRAPHIC INFORMATION PROTECTION TECHNOLOGY IN HEALTH AND MEDICAL CARE FIELD OF CHINA

Radchenko K., Li Bai, Potapova E. Research of Cryptographic Information Protection Technology in Health and Medical Care Field of China. Cryptography technology based on domestic algorithms for the use of informatization in the health and medical care field of China is classified and researched in the paper. In the trend of medical services gradually transitioning from "closed" to "open", the medical information security environment is not optimistic. It is emphasized that with the correct settings and selection of the necessary cryptographic stability of the encryption algorithm, the technology is safe and independent, ensures the safety of medical data and facilitates the circulation of medical services. Cryptography technology service realizes the identity authenticity of medical data access subjects, the confidentiality and integrity protection of medical health information in the process of sharing and storage, the protection of sensitive information in the process of access, query and use, and the secure data cochain in the whole process, and ensures that the cryptographic application is secure, independent and controllable, truly achieves the security of medical health data and promotes the open sharing of health services.

Keywords: cryptography technology, trusted identity, transmission encryption, privacy protection, domestic algorithm.

Радченко К.О., Лі Бай, Потапова К. Р. Дослідження технології криптографічного захисту інформації в галузі охорони здоров'я та медичної допомоги Китаю. У роботі класифіковано та досліджено технологію криптографії на основі вітчизняних алгоритмів для використання інформатизації у сфері охорони здоров'я та медичного обслуговування Китаю. У тенденції поступового переходу медичних послуг від «закритості» до «відкритості» середовище безпеки медичної інформації поки ще не є оптимальним. Наголошується, що при правильному налаштуванні та підборі необхідної криптографічної стійкості алгоритму шифрування технологія є безпечною та незалежною, забезпечує безпеку медичних даних та полегшує обіг медичних послуг. Служба технології криптографії реалізує автентичність ідентифікації суб'єктів доступу до медичних даних, захист конфіденційності та цілісності медичної інформації про здоров'я в процесі обміну та зберігання, захист конфіденційної інформації в процесі доступу, запиту та використання, а також безпечний коланцюг даних у всьому процесі та гарантує, що криптографічна програма є безпечною, незалежною та керованою, дійсно забезпечує безпеку медичних даних про здоров'я та сприяє відкритому обміну послугами охорони здоров'я.

Ключові слова: технологія криптографії, довірена особа, шифрування передачі, захист конфіденційності, вітчизняний алгоритм.

Statement of a scientific problem. The vigorous development of "internet plus healthcare" [1], the continuous improvement of smart medical applications, the growing number of big data applications in the health field, and the continuous emergence of new businesses and application methods have brought a variety of data security challenges to health big data at all stages of the whole life process of health diagnosis and treatment, data use, including identity counterfeiting, privacy disclosure, secret theft, data tampering, ultra vires access, etc. The country attaches great importance to data security and has successively promulgated the Personal Information Protection Law and the Data Security Law in 2021. Among them, the Data Security Law clearly states that carrying out data activities must fulfill data security protection obligations and assume social responsibility. In the field of medical and health, data security is related to the safety of patient life, personal privacy, and public interests. In order to better protect medical data security and standardize medical data sharing, the National Information Security Standardization Technical Committee officially released the "Information Security Technology Health and Medical Data Security Guidelines" at the end of 2020, which proposed confidentiality for health and medical data controllers. The security goals of integrity and availability. In 2022, the National Health Commission issued the "Management Measures for Network Security of Medical and Health Institutions", which clearly stated that "all medical and health institutions should strengthen data collection, storage, transmission, processing, use, exchange, and destruction throughout their lifecycle security management work, adopt prevention and control measures such as data desensitization, data encryption, and link encryption to prevent data leakage during the data collection process" [1,4]. Passwords are the foundation and core of network information security. It is an important component of the national network information construction. This article will discuss the application of cryptographic technology based on domestic algorithms in the field of healthcare to ensure the security of medical data.

Research analysis. The hospital information system covers various functional departments, and its construction has the characteristics of central deployment, distributed application, and hierarchical management. It is aimed at all doctors, nurses, physicians, operation and maintenance personnel and other different types of staff, with different identity roles and management permissions. To ensure effective access control for users, it is necessary to ensure the authenticity and trustworthiness of personnel identities, Ensure the orderly conduct of relevant business and work. Therefore, based on the unique information environment of the hospital, it is necessary to establish a set of identity authentication management system for the entire hospital. Based on password technologies such as dynamic passwords, message authentication codes, and digital certificates, trusted identity authentication credentials for the user network world should be established to achieve secure, reliable, and trustworthy identity login authentication, ensuring the authenticity and trustworthiness of the identities of users with different roles.

The confidentiality and integrity requirements of medical data during transmission ensure the secure transmission of medical and health data between the user end and the server end in business processes such as internet healthcare and remote work outside the hospital; Ensure the transmission security of medical and health data between hospital systems and regional platform systems in business processes such as direct reporting of infectious disease information and sharing of electronic medical records. During the transmission process, verify the integrity and confidentiality of the data to prevent theft or tampering of medical data [6].

Medical data involves a large amount of privacy information such as patients and medical records. Privacy protection is applied to privacy data, important information, and sensitive information, with dynamic desensitization. Differential data display can be performed based on user permissions to prevent the leakage of personal or sensitive information such as user identity information, phone numbers, and medical records.

As the various functions of hospital information systems gradually replace traditional medical diagnosis and treatment methods, both doctors and patients have shifted from recognition of a paper diagnosis book to recognition of the description content of a data message. Whether the responsibility attribution of data messages is clear directly related to whether the information technology process can completely replace traditional paper processes. Therefore, on the premise of the authenticity and credibility of the identities of both doctors and patients, it is necessary to combine reliable electronic signature technology to establish a responsibility recognition mechanism in the hospital information system, ensure clear responsibility attribution of medical data, achieve a truly paperless diagnosis and treatment process, and fully leverage the high efficiency advantages of informatization.

The goal of the work. The main objective of the research is to present a method by which cryptographic technology in the field of health care to ensure the security of medical data.

Implementation of the method could involves the provision for medical and health institutions strengthen data collection, storage, transmission, processing, use, exchange, and destruction throughout their lifecycle security management work, adopt prevention and control measures such as data desensitization, data encryption, and link encryption to prevent data leakage during the data collection process.

Presentation of the main material and substantiation of the obtained research results. Basic cryptographic technology mainly includes domestic commercial cryptographic algorithms such as SM2, SM3, and SM4, as well as digital signatures, digital envelopes, encryption and decryption, integrity calculations, SSL protocols, etc. based on these algorithms.

Symmetric cryptographic algorithm, where the encryption key and decryption key are "symmetric", and the encryption process and decryption process use the same key. There are two main forms of symmetric ciphers for different data types and application environments: for example, block ciphers using the SM4 cryptographic algorithm, and stream ciphers using the ZUC cryptographic algorithm [2].

The public key cryptographic algorithm, also known as asymmetric cryptographic algorithm, differs from symmetric cryptographic algorithms in that encryption and decryption use different keys, solving the problem of key management in symmetric cryptographic algorithms. This includes fields such as encryption and decryption algorithms based on public keys, digital signature verification technology, and key negotiation. China has issued the standard commercial public key cryptographic algorithm, SM2 cryptographic algorithm. The public key encryption algorithm uses different keys for encryption and decryption, becoming the public key and private key. The public key is made public, while the private key is kept confidential. Digital signature algorithms, also known as electronic signature algorithms, can achieve functions similar to handwritten signatures, but with the help of mathematical methods, they are

more secure and functional than handwritten signatures. The public key encryption algorithm, combined with a key negotiation algorithm of a specific cryptographic protocol, is used to negotiate keys that are commonly used by both communication parties.

The hash algorithm is a function that can compress any length of information into a fixed length of short information according to a certain algorithm. It has properties such as tamper resistance and irreversibility, and the output of the function becomes a summary value, also known as a summary. The hash algorithm has many functions, and it can be used for digital signatures: first compress the message, then sign the digest value; It can detect the integrity of messages and determine whether the message has been tampered with based on the digest value; It can be used for password storage, taking advantage of the unidirectional nature, even if the digest value is exposed, the password will not be exposed. The SM3 algorithm is a cryptographic hash algorithm in China's commercial cryptographic standards (Fig.1).

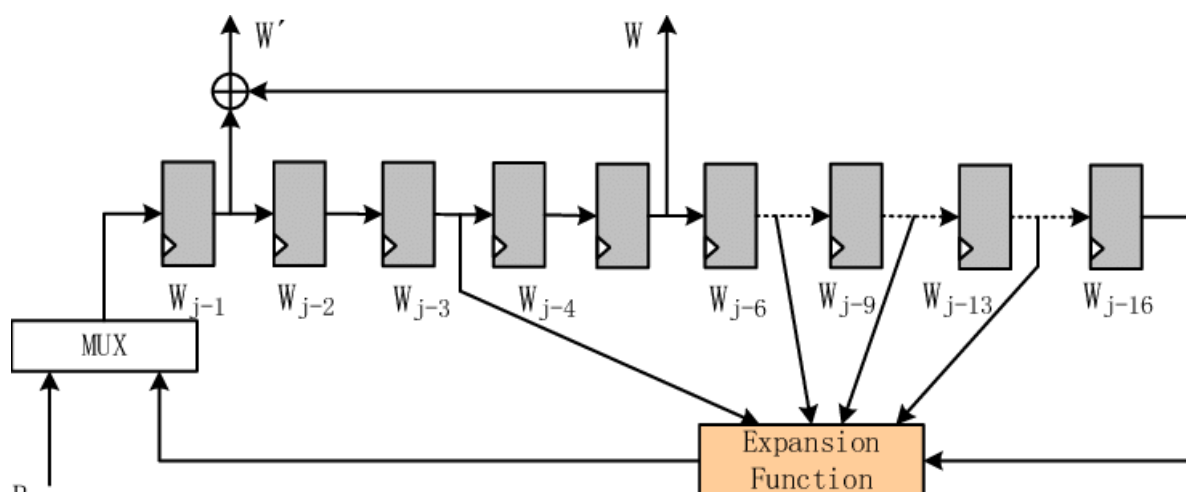


Fig.1. The SM3 message expansion structure [7]

Applying cryptographic algorithms to achieve specific security functions is very complex, and different usage environments require different cryptographic protocols. Different security functions are also implemented by different cryptographic protocols. Therefore, there are various cryptographic protocols in cryptography, such as key agreement protocols, identity authentication protocols, etc. The security of password protocols is crucial for password applications. Password protocols are not secure, and even if password algorithms are secure, password applications are still insecure.

Building a certificate storage blockchain based on judicial applications, using medical institutions, CA institutions, relevant notary offices, judicial appraisal centers, internet courts, arbitration and other institutions as blockchain nodes. Utilizing the characteristics of multi-party consensus, distributed storage, traceability, and tamper resistance of blockchain, it is deeply integrated with domestic cryptographic technology, combined with digital signature technology, trusted timestamp, identity authentication technology, etc., to ensure the authenticity and integrity of electronic data.

The National Cryptography Algorithm is a series of cryptographic standards designated by the Office of the State Administration of Commercial Cryptography, which have been recognized by the National Cryptography Administration as domestically produced cryptographic algorithms to ensure the security of information transmission in fields such as finance and healthcare.

National Cryptography refers to the domestically produced cryptographic algorithm recognized by the National Cryptography Bureau. There are mainly SM1, SM2, SM3, and SM4. The key length and packet length are both 128 bits [3].

SM1 is symmetric encryption. Its encryption strength is equivalent to AES. This algorithm is not publicly available, and when calling it, it needs to be called through the interface of the encryption chip.

SM2 is asymmetric encryption based on ECC. The algorithm has been made public. Due to its ECC based algorithm, its signature speed and key generation speed are both faster than RSA. ECC 256 bit (SM2 uses a type of ECC 256 bit) has higher security strength than RSA 2048 bit, but faster computation speed than RSA.

SM3 message summary. MD5 can be used as a comparative understanding. The algorithm has been made public. The verification result is 256 bits.

The packet data algorithm for the SM4 wireless local area network standard. Symmetric encryption, with a key length and packet length of 128 bits.

SM2 algorithm: The SM2 elliptic curve public key cryptography algorithm is a public key cryptography algorithm independently designed in China, including the SM2-1 elliptic curve digital signature algorithm, the SM2-2 elliptic curve key exchange protocol, and the SM2-3 elliptic curve public key encryption algorithm, which are used to achieve functions such as digital signature key negotiation and data encryption. The difference between the SM2 algorithm and the RSA algorithm is that the SM2 algorithm is based on the discrete logarithmic problem of point groups on elliptic curves. Compared to the RSA algorithm, the strength of the 256 bit SM2 password is already higher than that of the 2048 bit RSA password.

SM3 algorithm: SM3 hash algorithm is a password hash algorithm independently designed in China, suitable for the generation and verification of digital signature and verification message authentication codes in commercial password applications, as well as the generation of random numbers. It can meet the security requirements of various password applications. To ensure the security of the hash algorithm, the length of the hash value generated should not be too short. For example, MD5 outputs a 128 bit hash value, and the output length is too short, which affects its security. The output length of SHA-1 algorithm is 160 bits, while the output length of SM3 algorithm is 256 bits. Therefore, the security of SM3 algorithm is higher than that of MD5 algorithm and SHA-1 algorithm (Fig.2).

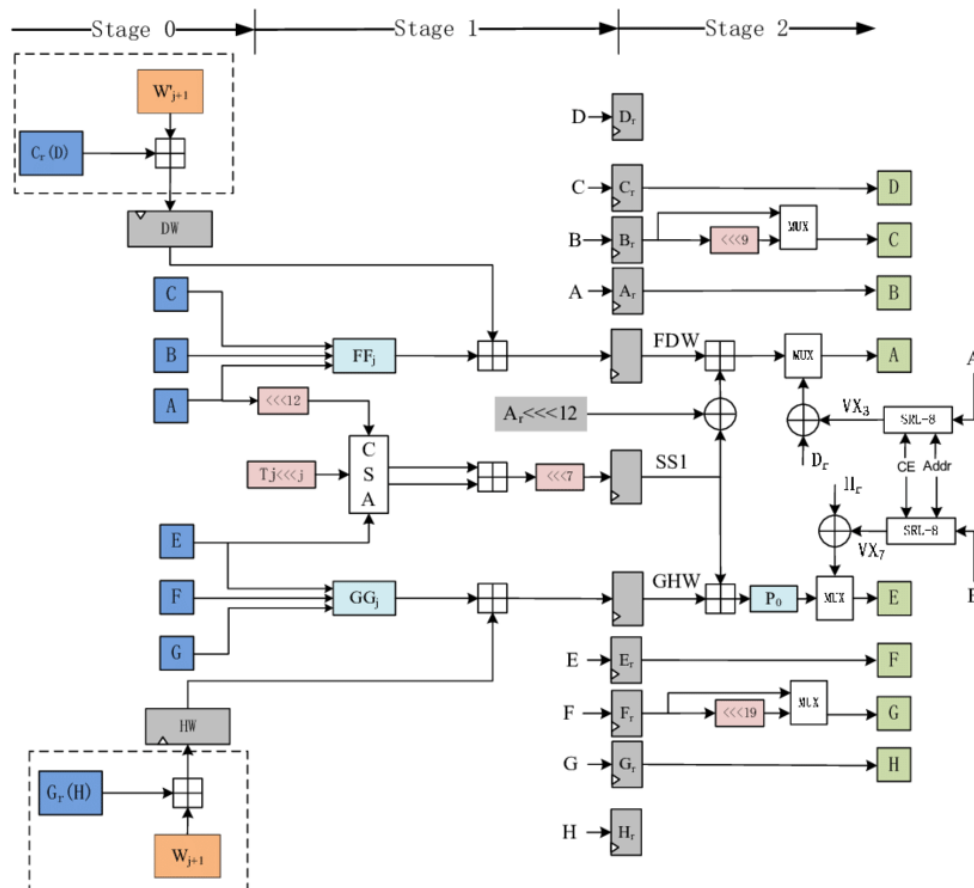


Fig.2. The high-throughput round architecture of SM3 [8]

SM4 algorithm: The SM4 block cipher algorithm is a group symmetric cipher algorithm independently designed in China, used to encrypt/decrypt data to ensure the confidentiality of data and information. The basic condition for ensuring the security of a symmetric cryptographic algorithm is that it has sufficient key length. The SM4 algorithm has the same key length as the AES algorithm, with a group length of 128 bits, thus outperforming the 3DES algorithm in terms of security.

Based on password technologies such as dynamic passwords, message authentication codes, and digital signatures, the authenticity of digital identities of individuals, devices, institutions, and other entities is ensured through diversified identity credentials. Doctors, nurses, and pharmacists have professional

qualifications, and their online identities correspond to their professional identities, achieving consistency between their online identities and industry identities; For personnel entering and exiting important areas such as computer rooms, as well as operation and maintenance personnel, ensure their identity is trustworthy and effectively intercept unauthorized personnel from entering.

For all medical staff in hospitals, a unified and compliant digital certificate service system based on national secret digital certificates can be established to solve the problem of identity credentials and credential authentication for actors in the hospital information system. If it is based on PC access, the national secret digital certificate in the USBKey can be verified by using the USBKey digital certificate based on the national secret algorithm and calling identity authentication based on the national secret browser Verification, achieving identity authentication in application and data aspects; If it is based on mobile access, integrate a mobile intelligent terminal security password module that meets the GM/T 0028-2014 "Password Module Security Technical Requirements" [5] on the mobile terminal, call the collaborative signature function, issue a mobile digital certificate based on the national security algorithm, and achieve identity authentication in terms of application and data through collaborative signature authentication between the terminal and the server.

Medical information systems include various roles such as medical and nursing technology users, patients, office workers, operation and maintenance personnel, researchers, etc., which access business applications through terminals such as PC and APP through local area networks and the internet. Network communication transmission often exists in scenarios such as online registration, internet healthcare, and remote office work outside the hospital.

At the network layer, secure data transmission channels are established using National Security SSL technology to achieve identity authentication at the network layer, while protecting the integrity and confidentiality of data during communication, preventing medical data from being tampered with, leaked, or stolen. Usually, gateways based on national security algorithms and compliant with commercial password product authentication requirements are deployed in the DMZ area of hospitals, without the need to integrate with application systems to build a national security transmission channel.

At the application layer, password devices based on national security algorithms and meeting the certification requirements of commercial password products are usually deployed in the service area. Important data such as personal privacy information and patient reports are protected for confidentiality through the SM4 national security algorithm, and digital signature integrity is protected through the SM2 national security algorithm, ultimately achieving the confidentiality and integrity protection of important data transmission at the application layer.

Conclusions. Therefore, in the field of medical and health, data security is related to the safety of patient life, personal privacy, and public interests. In order to better protect medical data security and standardize medical data sharing, it was suggested to pay special attention confidentiality for health and medical data controllers. The security goals of integrity and availability. Passwords are the foundation and core of network information security, and one are an important component of the national network information construction.

References

1. Yang F., Shu H., Zhang X. Understanding "Internet Plus Healthcare" in China: Policy Text Analysis / J Med Internet Res 2021;23(7):e23779 / Mode of access: <https://www.jmir.org/2021/7/e23779> – doi: 10.2196/23779
2. Basic crawler reverse engineering, understanding SM1-SM9, ZUC national secret algorithm [Electronic resource] / Mode of access: <https://segmentfault.com/a/1190000040933093/en> – Access date: appeal 05.11.2023.
3. SM3 cryptographic hash algorithm [Electronic resource] / Mode of access: <https://gmbz.org.cn/main/viewfile/20180108023812835219.html> – Access date: appeal 05.11.2023.
4. Dong, K.N. & Wang, N. (2017). The dawn of intelligent medical era: an overview of the application of artificial intelligence + health care. Big data era, 000 (004), p.26-37.
5. Titir, S. (2010) Mobile Health Care System for Patient Monitoring. Information and Communication Technologies, (101):695-700.
6. Zheng, W. Z. & Liu, Q. L. (2016). Changes and governance of China's Internet in 21 years. Xinmin weekly, 000 (019), 16-19.
7. Ma, Y., Xia, L., Lin, J., Jing, J., Liu, Z., Yu, X. (2012). Hardware Performance Optimization and Evaluation of SM3 Hash Algorithm on FPGA. In: Chim, T.W., Yuen, T.H. (eds) Information and Communications Security. ICICS 2012. Lecture Notes in Computer Science, vol 7618. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34129-8_10
8. Suo, S., Xi, W., Cai, T., Jian, G., Yao, H., Li, J. Encryption Technology in Information System Security / Advances in Computer Science Research, volume 87 // 3rd International Conference on Mechatronics Engineering and Information Technology (ICMEIT 2019). <https://doi.org/10.2991/icmeit-19.2019.80>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-10>

UDC 004.056.5

Struk Iryna, Student

<https://orcid.org/0000-0003-1363-5489>

Yurchak Iryna, Associate Professor at the Department of Automated Design Systems

<https://orcid.org/0009-0005-9100-8511>

National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF IMAGE STEGANOGRAPHY BASED ON LSB ALGORITHM WITH CAESAR'S CIPHER

Struk I., Yurchak I. Software implementation of image steganography based on LSB algorithm with Caesar's cipher. The purpose of this work is to conduct a study of computer steganography methods and the implementation of image steganography using the LSD algorithm and the Caesar cipher. The development of global computer networks allows fast and efficient transfer of electronic documents, but at the same time there is a risk of illegal copying and distribution of materials. Confidentiality of important information is an extremely responsible matter. Therefore, there is a need to develop methods and software tools for hiding information in various types of files, in particular images. Steganography is a mechanism for hiding messages in cloaking objects such as images, audio, text, video, and network protocol so that the hidden message cannot be detected by the naked eye or attackers.

Keywords: steganography, image steganography, information security, algorithm.

Струк І.Т., Юрчак І.Ю. Програмна реалізація стеганографії зображення на основі алгоритму LSB з шифром Цезаря. Метою даної роботи є проведення дослідження методів комп'ютерної стеганографії та реалізації стеганографії зображень з використанням алгоритму LSD та шифру Цезаря. Розвиток глобальних комп'ютерних мереж дозволяє швидко та ефективно передавати електронні документи, але водночас існує ризик нелегального копіювання та розповсюдження матеріалів. Конфіденційність важливої інформації – справа надзвичайно відповідальна. Тому виникає потреба у розробці методів і програмних засобів для приховування інформації у файлах різних типів, зокрема зображень. Стеганографія — це механізм приховування повідомлень у маскувальних об'єктах, таких як зображення, аудіо, текст, відео та мережевий протокол, щоб приховане повідомлення не було виявлено неозброєним оком або злоумисниками.

Ключові слова: стеганографія, стеганографія зображення, інформаційна безпека, алгоритм.

Global computer networks have made it possible for electronic documents to be transferred quickly and effectively, but there is also a chance that materials will be illegally copied and distributed. Maintaining the privacy of critical information is a very serious issue. Thus, techniques and software tools for concealing data in different kinds of files—especially images—need to be developed.

Image steganography is a crucial technology for cyberspace security, and its study is strategically significant. A single algorithm is used in fewer instances of image steganography as the technology becomes more widely used; instead, more adaptive image steganography is employed. There is a place for steganography in data security. Rather than taking the place of cryptography, it enhances it.

1. Stegosystem model and its types.

Steganography techniques only conceal the fact that information is being transmitted; they do not alter the content of the message. Additionally, they add an extra layer of security if the message is encrypted beforehand.

Figure 1 shows an example of a steganographic system, which is a collection of devices and techniques for establishing a covert channel for information transmission [1].

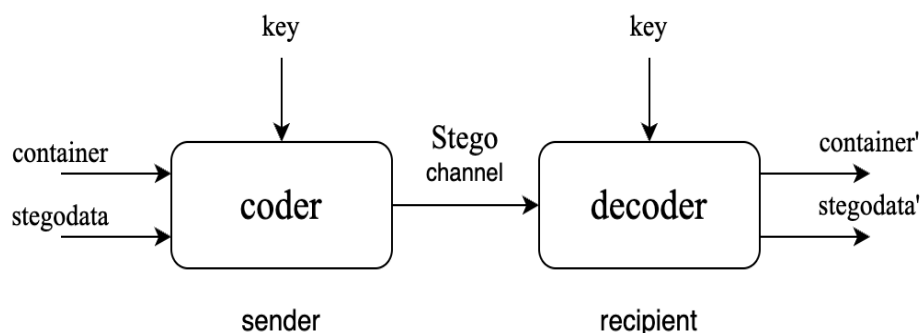


Fig. 1. Stegosystem model

Any information such as text, messages, images, etc. can be used as input data. In general, the term "container" should be used, since it can cover both text and images, as well as, for example, audio data. The term "container" is used to indicate hidden information in this master's qualification thesis.

The described model consists of the following objects:

- stegodata – data of any type embedded in the container;
- container – any information suitable for hiding in it messages;
- key – secret key needed for encryption and decryption of messages. It is used to strengthen protection;
- a steganographic channel or simply a steganochannel - a transmission channel of a steganocontainer.

The sender chooses a container in which the data will be embedded and the embedding data, such as some text. In the encoder, data is encoded using a key. Next, an encoded container with data is transmitted over the stegochannel, which the recipient must also decode using a key. As a result, the recipient has decrypted information.

According to the type of steganokey (secret key needed to hide information), the steganosystem model can be:

- with a secret key;
- with an open key.

In the case of a secret key, a single key is used, transmitted over a secure channel. But in the case of a public key - different keys that can be transmitted freely over an unprotected channel. Such a system works effectively even when there is mutual distrust between the sender and the recipient [2].

2. The LSB method

Using the least significant bit method is a simple and common approach to hiding information in a container. You can consider the structure of such a container using the example of an image file in BMP format (BitMap image — bitmap image). Here, the image is stored without loss of quality, so the size of these files is quite large.

The BMP file can be conditionally divided into 4 parts: file header, image title palette, image.

The first two bytes in the file header are defined as the BM signature (this is the BitMap signature or identifier of the bitmap file), by which the computer program recognizes that this is an image file in the BMP format. Next, the next four bytes record the size of the file, and the next four bytes are reserved and must contain zeros. The next sequence of four bytes specifies the offset from the beginning of the file to the bytes that represent the image.

In a BMP format file with a dimension of 24 bits per pixel, information about each pixel is encoded by three RGB bytes (Red, Green, Blue). In the LSB (Least Significant Bit) steganography method, the bits of the secret message are embedded instead of the lower bits (the last, smallest, highlighted in blue in Table 2) in the bytes responsible for color coding. Changing the shade of a pixel's color when the last bit of the palette is replaced by "0" or "1" is almost imperceptible to the human eye [5].

Representation of the bytes responsible for color coding before input steganograms are given in table 1.

Table 1 - Representation of bytes before entering a steganogram

1		0	0	0	0	0	0	1	R = 65	
1		0	1	1	0	0	0	0	G = 176	
0		1	1	0	1	0	1	0	B = 106	

The representation of the bytes responsible for color coding after entering the steganogram into the last significant bits is given in the table 2.

Table 2 - Presentation of bytes after entering the steganogram

1	0	0	0	0	0	0	0	R' = 64	
1	0	1	1	0	0	0	1	G' = 177	
0	1	1	0	1	0	1	1	B' = 107	

The capacity of a 24-bit BMP file as a stegocontainer is maximized if the last bits of all bytes encoding the duration of the three colors are used. In this case, this capacity is one eighth of the volume of the image file. For example, a 1080 by 1080 pixel image file can hide a steganogram with very large text. Calculations indicate that up to 437,400 ($1080 \times 1080 \times 3 \times 1/8 = 437400$) bytes of textual information can fit in an image.

If you use only the last bits of the bytes that are responsible for the blue color transfer, this will reduce the capacity of the image file as a stegocontainer by three. Nevertheless, it will be almost impossible to visually detect the presence of a steganogram in such an image, since the human eye poorly distinguishes shades of blue.

3. Caesar cipher with key

The Caesar Cipher is a simple encryption technique used by Julius Caesar to communicate confidentially with his allies. The basic idea is to shift the letters in a text message by a certain number of positions, called an "offset" or "key."

The Caesar cipher is one of the oldest and simplest encryption methods. This is a kind of substitution cipher, where each letter of the text is replaced by a letter located a fixed number of positions in the alphabet. For example, when shifting one position, the letter A becomes B, B becomes C, and so on[6].

To encrypt, you need to know an integer known as an offset, which indicates the number of positions that each letter of the text is shifted down. Encryption can be represented using modular arithmetic by turning letters into numbers where A = 0, B = 1,..., Z = 25. For example, at shift 5, A is replaced by F, B becomes G, C becomes H, and so on. The alphabet rotates, that is, after Z, it starts again with A (Fig. 2).

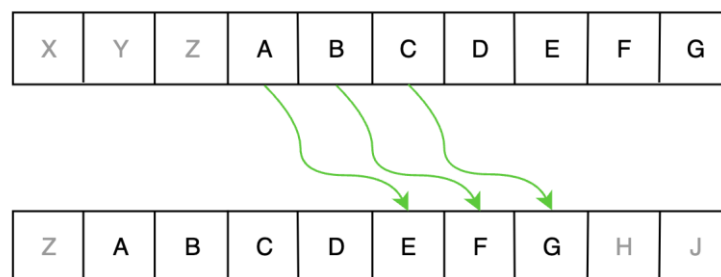


Fig. 2. Alphabet if offset is 4

An example of using the Caesar cipher to encrypt the message "WORLD" with an offset of 4:

- write the message in plain text: WORLD;
- select the offset value (in this case, offset 4 is used);
- replace each letter in the text message with the letter that occupies four positions to the right in the alphabet (W becomes A (offset 4 from W), O becomes S, R becomes V, L becomes P, D becomes H);
- the encrypted message is now "ASVPH".

To decipher a message, you simply need to move each letter back the same number of positions. In this case, you need to shift each letter in "ASVPH" back 4 positions to get the original "WORLD" message.

4. Information system design

To design the system, a block diagram of the system algorithm, a class diagram and a use case diagram were developed.

This system will have two main functions: image encoding and decoding.

Thus, the above functions, with a detailed description of their operation, should cover almost all the functionality that is required to have a complete algorithm of the information system.

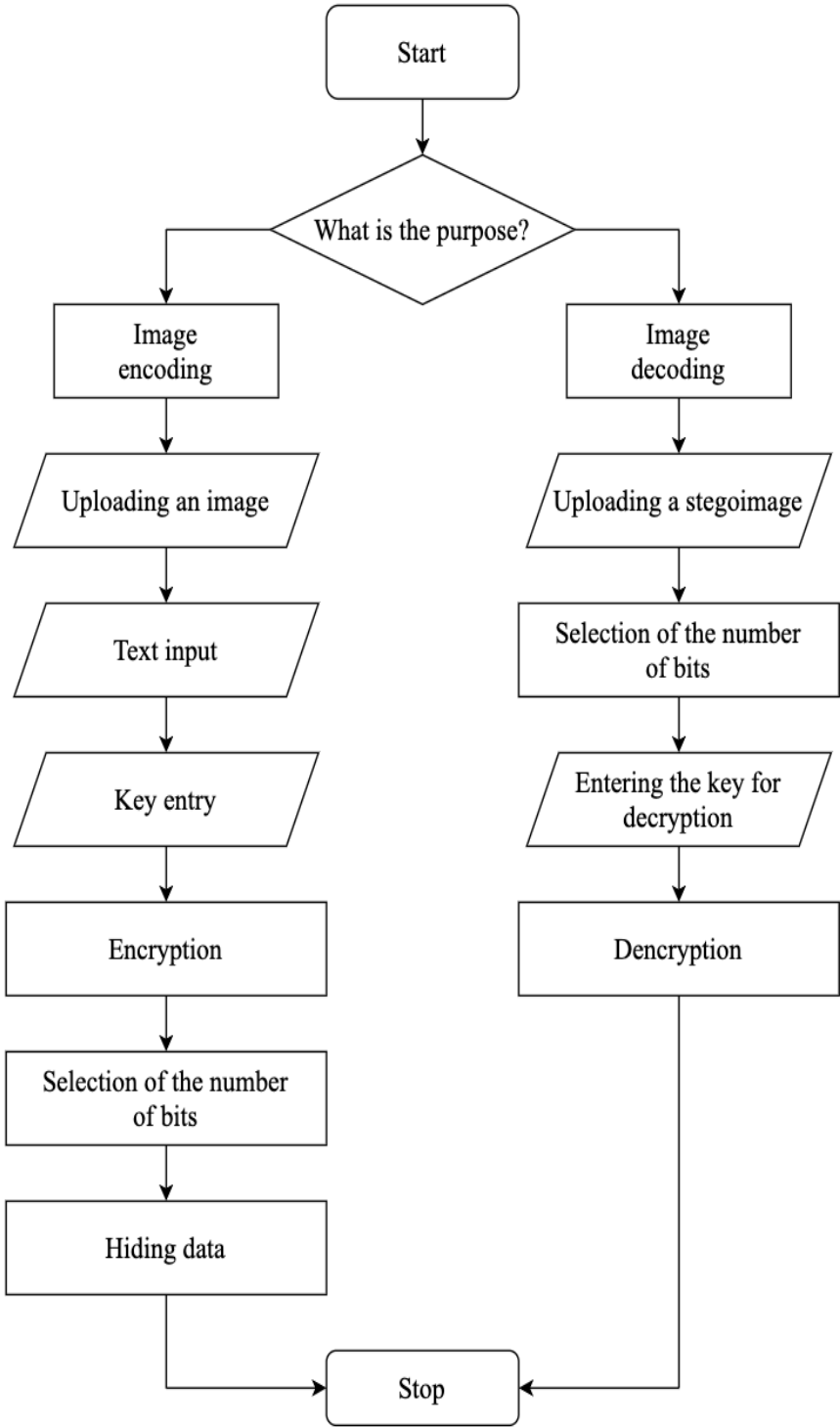


Fig. 3. Block diagram of the system algorithm

For a better understanding of how the system works, below is a class diagram with their detailed description.

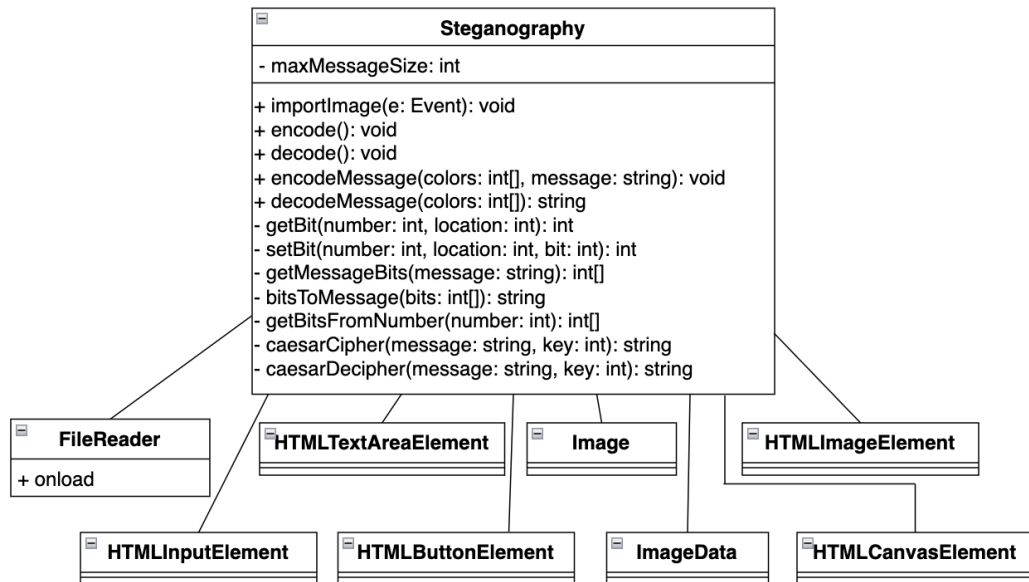


Fig. 4. Class diagram of the system

- **ImportImage(e: Event): void:** This method is called when an image file is selected. It reads the selected image file, displays a preview, and sets up the canvas for further processing. After loading the image, it calls the decode method.
- **Encode(): void:** This method is called when the Hide Message button is clicked. It receives the message and password from the user's input fields, encrypts the message using a Caesar cipher, and then encodes the encrypted message into an image using residual bit (LSB) encoding. The resulting image is displayed and a message appears.
- **Decode(): void:** This method is called when the Open Message button is clicked. It retrieves the password from the user's input field, decodes the hidden message from the image using residual bit (LSB) decoding, decrypts the message using a Caesar cipher, and displays the decrypted message on the page.
- **caesarCipher(message: String, key: int): String:** This method takes a message and a key as input and performs caesar cipher encryption. It shifts each letter in the message by the specified number of keys.
- **caesarDecipher(message: String, key: int): String:** This method takes an encrypted message and a key as input and performs Caesar cipher decryption. It shifts each letter in the message back by the specified number of keys to recover the original message.
- **encodeMessage(colors: Array, message: String): void:** This method takes an array of color values (pixel data) and a message as input. It encodes the message bits into the least significant bits (LSB) of the color values to hide the message in the image.
- **decodeMessage(colors: Array): String:** This method takes an array of color values (pixel data) as input and decodes the hidden message from the least significant bits (LSB) of the color values.
- **getBit(number: int, location: int): int:** The given number and location of the bit, this method gets the value of the specified bit in the number.
- **setBit(number: int, location: int, bit: int): int:** Given a number, bit location, and bit value, this method sets the specified bit in number to the specified value.
- **getMessageBits(message: String): Array:** Given a message, this method converts each character of the message into an array of bits.
- **bitsToMessage(bits: Array): String:** Given an array of bits, this method converts the bits to a string.
- **getBitsFromNumber(number: int): Array:** Given a number, this method converts the number into an array of bits.

Use case diagrams represent the elements of the use case model.

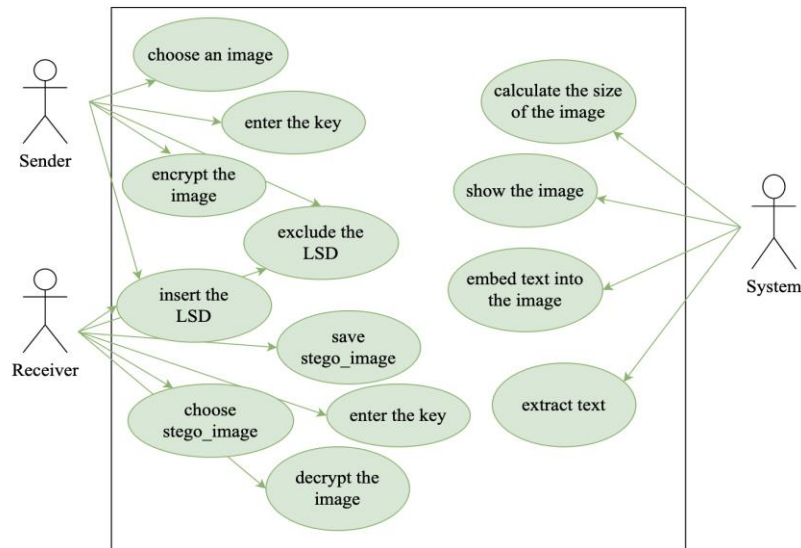


Fig. 5. Use case diagram

Use cases are described below.

Entity: Sender

Use cases: select image, enter key, encrypt image, remove LSD, insert LSD.

Description: The user initiates the image import process by selecting a file. This action triggers the system to read the selected image file and display a preview. The sender enters the message to be encoded. After entering the message, the user initiates the encoding process. The system checks whether the size of the message meets the limit. If so, it encrypts the message using a Caesar cipher and embeds it in the image using LSB steganography. The encoded image will then be displayed and a notification will appear.

Acting person: Recipient

Use cases: save stegoimage, select stegoimage, enter key, decrypt image, extract LSD, insert LSD.

Description: the recipient can save the received stegoimage. This action triggers the system to allow the user to save the image. The recipient also initiates the process of decoding the message from the current image. The system extracts the hidden message using LSB steganography and then decrypts it using a Caesar cipher. A decrypted message will be displayed.

Actor: System

Use cases: calculate image size, display image, embed text in image, extract text.

This use case diagram provides an overview of the main interactions between users and the steganography system. Actors are represented as figures, and usage options are shown as ovals within the system. Lines with arrows indicate the direction of interaction.

5. Software implementation

The least significant bit replacement method of hiding information in different image formats is not very resistant to compression and other types of container distortions because these operations have the potential to reveal hidden information. Furthermore, this technique is susceptible to steganoanalytic attacks, which can disclose the existence and type of hidden data.

Cryptographic techniques can be used to increase the level of protection of hidden information in an image that uses a replacement. A cryptographic algorithm like the Caesar cipher can be used to encrypt the message before it is embedded into the picture.

The user can choose how many message bits in this study are to be replaced by the pixel's least important bits.

The image is first loaded, and then its useful capacity is ascertained. UTF-8 encoding is used to encrypt user-entered text and convert it to binary format. Every character in this encoding has a different number of bytes to represent it; for instance, Ukrainian letters take up two bytes, some special characters take up three bytes, and Latin letters, numbers, and punctuation need one byte.

The user can then choose the order in which the R, G, and B components of the image are replaced. The signal-to-noise ratio is computed using altered image components. An image with embedded data is made by making a copy of it and making the required adjustments to it. The image with embedded data is stored separately from the original, which stays unaltered.

Click on the Choose file button and select the desired image. After that, an additional window appears on the right with the main functions(see Fig. 6). Next, you can enter the key to encrypt with the Caesar cipher. Select the number of bits in which the information will be hidden. Also, it is possible to extract information by doing all the actions in the reverse order.

First, you need to download the container file by clicking on the "Choose file" button. After that, enter the text in the field under the inscription "Your message". Enter the key, click "Encrypt". The text is now presented in encrypted form. Next, select the number of the smallest bits and the "Insert" button. A watermark appears along with the hidden message.

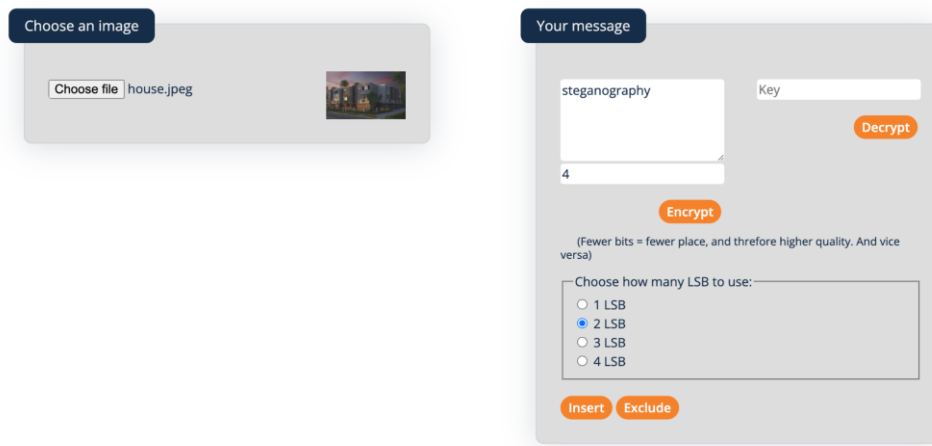


Fig. 6. The main functions of the application

To save this image, just click "Save" and sign the newly created file. Data extraction can be done immediately. If you need to do this from another image, just open it by clicking "Choose file".

For extraction, everything is done in the opposite way. First, select the number of bits and click "Remove" as shown. Next, enter the key and "Decrypt". Extraction was successful (see Fig. 7).

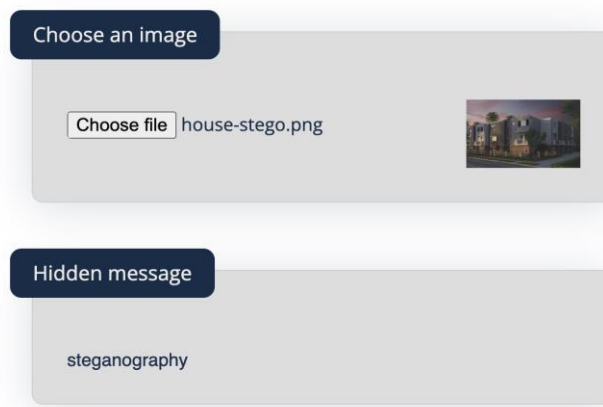


Fig. 7. Decryption of data

6. Application testing

To evaluate the results of the program operation, two methods of stegananalysis were used - chi-square[4] attack and RS-attack[3]. These methods are statistical in nature and are used to detect the possible

presence of a hidden message in areas of pixels. In particular, they are effectively applied when using the standard sequential method of making changes based on the least significant bit.

To conduct the experiment, a steganocanalyzer is used, in which an encrypted message was embedded:

*loremipsumdolorsitametconsecteturadipiscingelitduisetteleoturpislobortis-
liquamvelatsemvestibulum-necaliquameratvitaedictumnullasedfeugiatultricieslacus-necdictumsapien-
gelitduisemetconsecteremipsumdolor.*

The size of this distribution segment is 204 bytes, since its length is 204 characters, and the encoding is in the UTF-8 system, hence the size of 13 bytes is obtained.

The size of the container is 8,128 bytes. That is, the message is 2.5% of the size of the container.

To reveal the volume of hidden information in the container, which is subject to stegananalysis, two attacks were used - chi-square attack and RS-attack. The results of these attacks are presented in fig. 8 and 9.

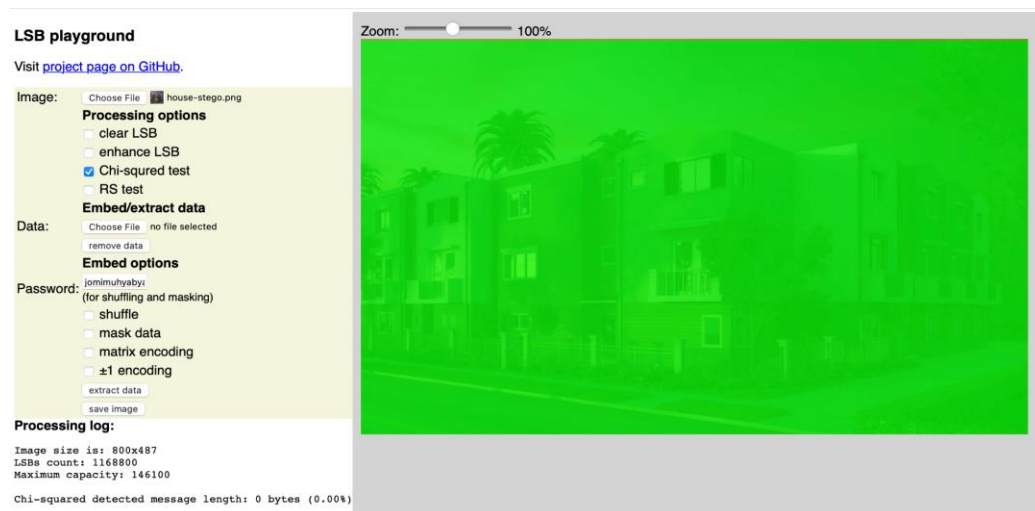


Fig. 8. Chi-Square Attack

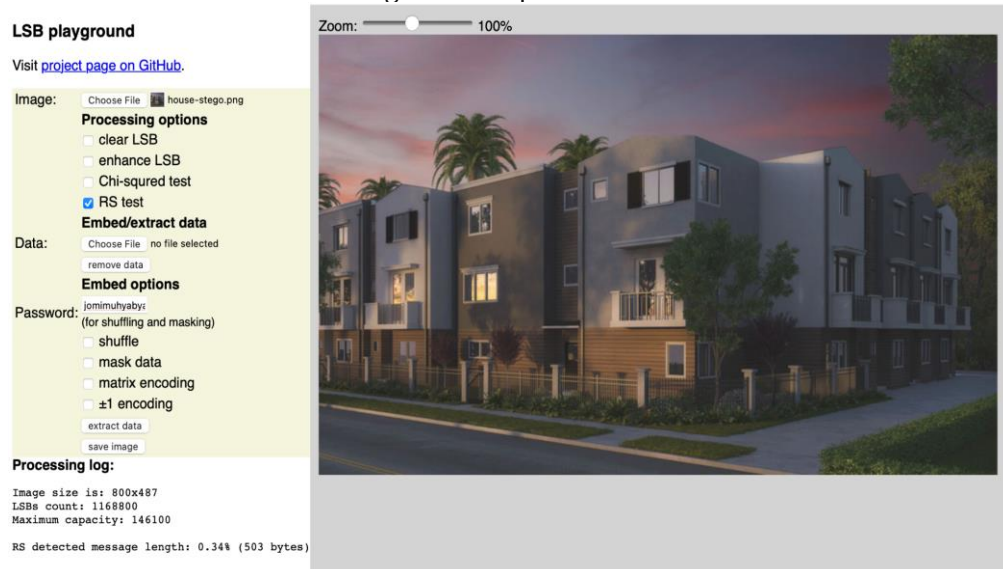


Fig. 9. RS-attack of steganocanalyzer

Based on the results of the attacks, it can be seen that their results are inaccurate, which indicates the high stability of the used concealment method for the given length of the embedded message. A chi-square attack failed to detect hidden information because this attack aims to detect statistical differences, but did not detect unusual patterns or embedded data. In turn, the RS attack was able to recognize only 0.34% of the data from the total volume of the container, although 2.5% of the container size was embedded.

On the other hand, the RS attack successfully recognized certain features of the embedded information that are different from the normal image. However, this percentage still falls short of the full recovery of the embedded message. Even if the image is opened, extracting information from it will remain a difficult task.

The results of test attacks are given in table 3.

Table 3 - Tests results

Type of attack	% of embedded text in the container	% of detection
Xi	2,5%	0%
RS	2,5%	0,34%

Conclusion

In this work, the theoretical content of computer steganography methods was investigated and a software product based on the LSB algorithm was implemented and the Caesar cipher was used to ensure the highest level of confidentiality. The next stage involved modeling and designing an information system that uses steganography methods to protect data in images. To ensure a higher level of protection of hidden information in the image, cryptographic methods were used, and the message itself was encrypted using such a cryptographic algorithm as the Caesar cipher.

The process of testing the developed solution using RS-attack and Chi-square attack is considered. Tests were conducted, the results of which are presented in the appropriate tables, and the result is demonstrated on the screenshots. A chi-square attack failed to detect hidden information because this attack aims to detect statistical differences, but did not detect unusual patterns or embedded data. In turn, the RS attack was able to recognize only 0.34% of the data from the total volume of the container, although 2.5% of the container size was embedded.

References

1. Hashim, M.M.; Rahim MS, M.; Johi, F.A.; Taha, M.S.; Hamad, H.S. Performance evaluation measurement of image steganography techniques with analysis of LSB based on variation image formats. *Int. J. Eng. Technol.* 2018, 7, 3505–3514. [Google Scholar]
2. Sahu, M.; Padhy, N.; Gantayat, S.S.; Sahu, A.K. Local binary pattern-based reversible data hiding. *CAAI Trans. Intell. Technol.* 2022, 7, 695–709. [Google Scholar] [CrossRef]
3. Mansour RF, Abdelrahim EM (2019) An evolutionary computing enriched RS attack resilient medical image steganography model for telemedicine applications. *Multidimens Syst Signal Process* 30(2):791–814. <https://doi.org/10.1007/s11045-018-0575-3> (date of access: 21.11.2023).
4. Chi-square [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.investopedia.com/terms/c/chi-square-statistic.asp> (date of access: 26.11.2023).
5. Pelosi, M.; Easttom, C. Identification of LSB image steganography using cover image comparisons. *J. Digit. Forensics Secur. Law* 2021, 15, 6. [Google Scholar]
6. Gaurav Shrivastava, Using Letters Frequency Analysis in Caesar Cipher with Double Columnar Transposition Technique, *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. Vol. 2 Issue 6 ,Page No. 1475-1478, 01 June, 2013, ISSN: 2277-9655.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-11>

UDC 004.046

Chernyashchuk Nataliya, Doctor of Pedagogy, Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

Koval Ihor, Master, Student

<https://orcid.org/0009-0001-2083-1747>

Haiduchyk Maksym, Master, Student

Kushko Ivan, Master, Student

Kachko Vitaly, Master, Student

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

INTELLECTUAL ANALYSIS OF LARGE DATA STORES

Chernyashchuk N., Koval I., Gaiduchyk M., Kushko I., Kachko V. Intellectual analysis of large data stores. An intelligent system for processing big data. The paper classified and considered the further development of the PHI accelerator in modern processors for computing artificial intelligence in games. Based on the approach, an intelligent system was developed that increases efficiency and speed in game projects using artificial intelligence. The practical significance of the obtained results is that the obtained results can be used to improve the efficiency of using machine learning in the development of computer games.

Keywords: processor, intellectualized system, machine learning, computer game, artificial intelligence
Keywords: processor, intellectualized system, machine learning, computer game, artificial intelligence.

Черняшук Н.І., Коваль І.М., Гайдучик М.С., Кушко І.М., Качко В.О. Інтелектуальний аналіз великих сховищ даних. У роботі класифіковано та розглянуто подальший розвиток прискорювача РНІ в сучасних процесорах для обчислень штучного інтелекту в іграх. На основі підходу була розроблена інтелектуальна система, яка підвищує ефективність і швидкість в ігрових проектах з використанням штучного інтелекту. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності використання машинного навчання при розробці комп'ютерних ігор.

Ключові слова: процесор, інтелектуалізована система, машинне навчання, комп'ютерна гра, штучний інтелект

Statement of a scientific problem. The functioning of an intelligent system is based on the use of various algorithms and methods that allow the system to understand, make decisions and interact with the environment. Some key algorithms for the functioning of intellectualized systems are considered in our work [1, 2].

Research analysis. Machine learning is an approach that allows an intelligent system to learn from data and make predictions or make decisions without explicit programming [2]. Machine learning algorithms include supervised learning (eg neural networks), unsupervised learning (clustering, dimensionality reduction) and reinforcement learning (Q-learning, REINFORCE).

Intelligent systems use rules and logical inference systems to make decisions based on facts and rules. This approach is widely used in expert systems [2, 7].

Optimization algorithms are used to find optimal solutions under constraints. This can be important in problems where you need to choose the best alternative among many.

To work with voice commands and audio data in intelligent systems, voice recognition algorithms are used, which convert audio signals into text information [5].

In intelligent systems that provide recommendations (for example, recommendations to buyers in an online store), collaborative and content filtering algorithms are used.

These algorithms can be used individually or in combination to develop a variety of intelligent systems and applications that solve different tasks. The choice of algorithms depends on the specific task and resources available for the implementation of the intelligent system [7, 8].

The goal of the work. Research on an intellectualized approach using hardware based on machine learning methods for the development of computer games.

Presentation of the main material and substantiation of the obtained research results. If the agent did not perform the action or for other reasons the action did not take place, then we return to the repeated step of training the agent on the selected set of values.

The functioning of an intelligent system is based on the use of various algorithms and methods that allow the system to interact with data and the environment, as well as to make decisions and react to events. Here are some basic algorithms for the functioning of intellectualized systems:

Signal processing techniques are used to analyze and process signals such as images and audio.

Machine learning algorithms include methods of classification, regression, clustering, and others that allow the system to learn patterns in data.

Logic techniques and rules are used to develop rules and logic algorithms that determine how a system makes decisions based on input data.

Knowledge-based decision-making techniques use expert knowledge and databases to make decisions.

Systems modeling methods are used to create models that simulate real processes or phenomena.

Simulation and virtual reality are used to create simulated environments where the system can test solutions without actual intervention.

Optimization algorithms are used to find optimal solutions under constraints.

Search algorithms are used to find the best solutions in problems with a large space of possible options.

Process automation algorithms are used to automate routine operations and tasks.

Control and regulation systems are used to control physical processes or devices.

Motion and navigation algorithms are used to control the movement of robots and navigate in space.

Natural language processing (NLP) algorithms are used to understand and generate textual information.

User interaction algorithms are used to create user interfaces and interactions.

Algorithms of the functioning of intellectualized systems can be combined into complex complexes for solving specific tasks and tasks. They can be implemented in different programming languages and use different approaches to data processing and user interaction.

The function of starting the action of the agent is presented in Figure 1, for its visualization the environment for creating computer games was used directly.

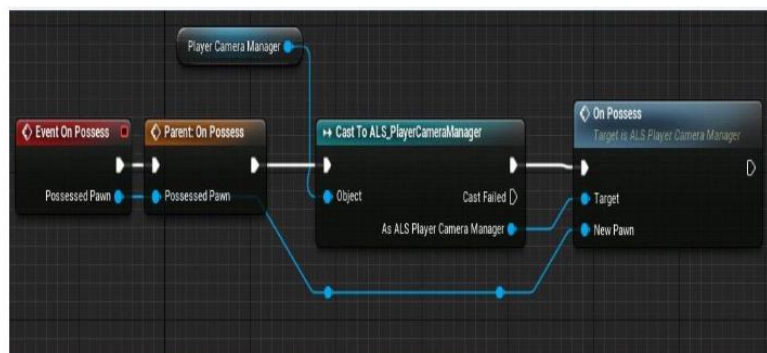


Fig.1. The start of the action of the agent

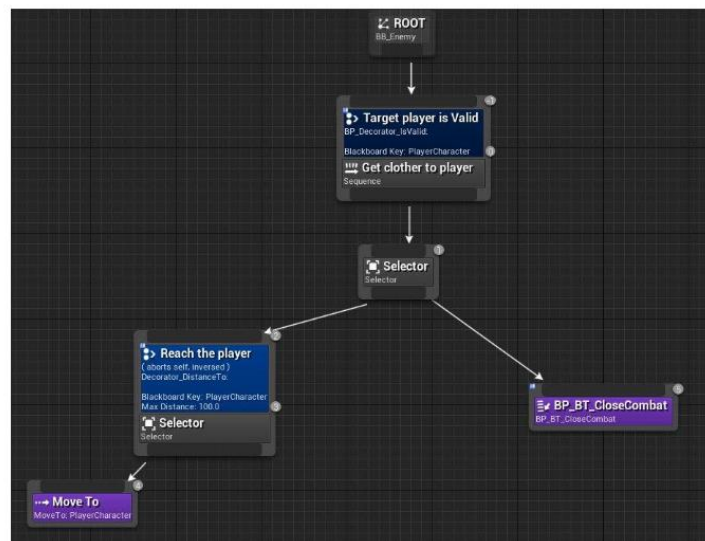


Fig.2. Agent behavior

The algorithms of the functioning of intelligent systems determine the way in which these systems make decisions and interact with the environment. These algorithms include various methods and approaches based on artificial intelligence and data processing. Here are some of the most common algorithms for the functioning of intelligent systems:

Methods of machine learning (Machine Learning) machine learning uses statistical algorithms to teach an intelligent system to recognize patterns in data and make decisions based on this knowledge. Machine learning methods include: neural networks, decision trees, support vector method, clustering, Bayesian networks and others.

Natural Language Processing (NLP) NLP techniques are used to understand and generate natural language, such as text analytics, machine translation, speech recognition, and sentiment analysis.

Genetic algorithms (Genetic Algorithms) genetic algorithms model natural selection for solving optimization problems and finding optimal solutions.

Decision Support Algorithms (Decision Support Algorithms) these algorithms help to make decisions based on input data and established rules. They are used, for example, in management systems, finance and medicine.

Simulation Systems (Simulation Systems) simulation systems allow you to simulate processes and interaction in systems to analyze and solve complex problems.

Planning and Optimization Algorithms (Planning and Optimization Algorithms) These algorithms are used to select the best actions or routes in limited time and resources.

Combining these algorithms and approaches allows you to create a variety of intelligent systems that can solve various tasks in different areas, from production automation to the development of smart mobile applications.

A standard behavior tree for an NPC is presented in Figure 3.

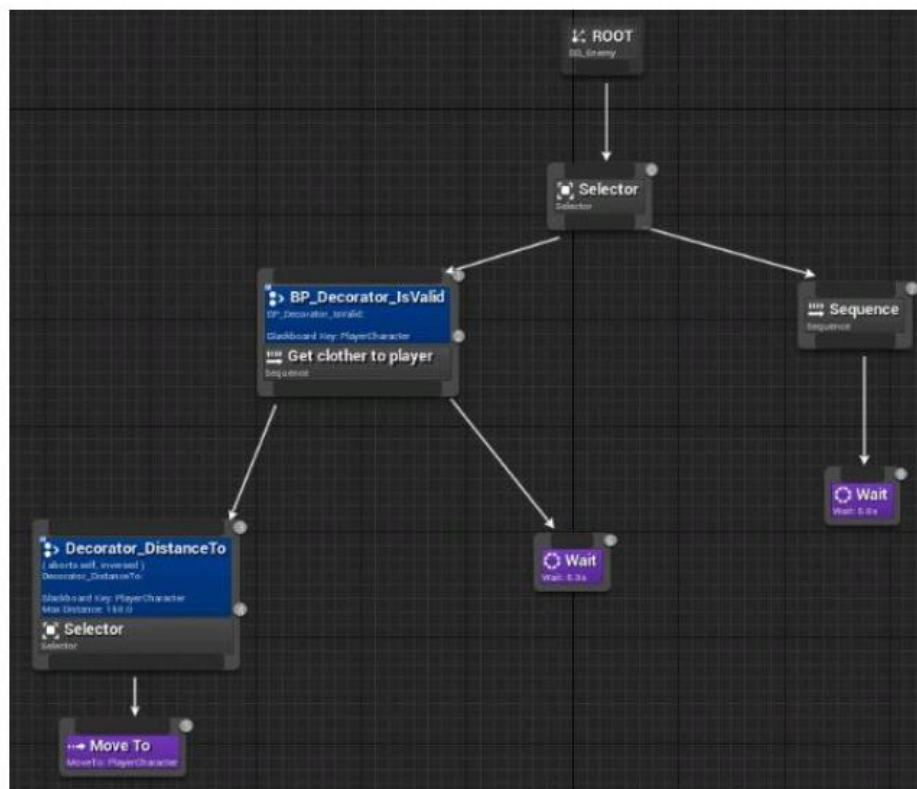


Figure 3 – NPC behavior algorithm

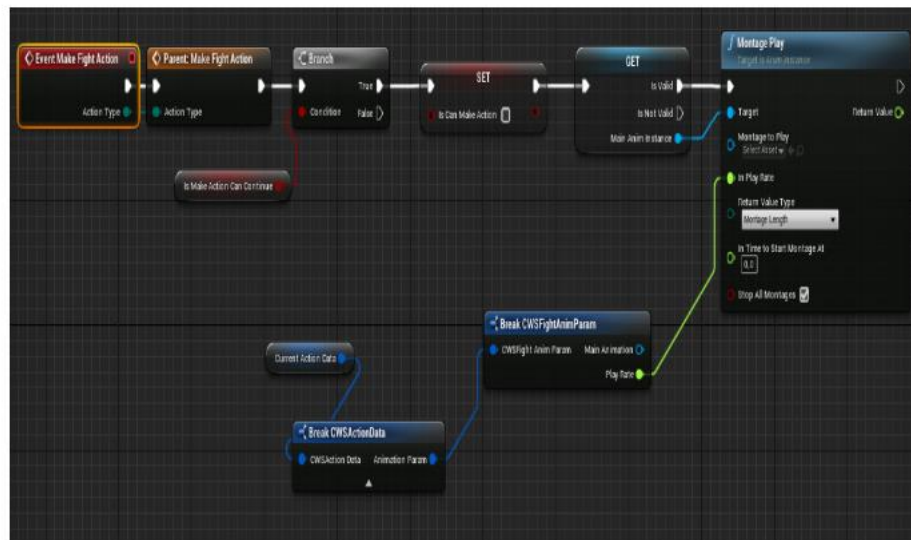


Figure 4 – Striking

The functional diagram of the operation of artificial intelligence during the battle is shown in Figure 5. The agent's counteraction algorithm is presented in Figure 6.



Figure 5 - Scheme of countermeasures

For each action there is a counteraction, for example, if the player hits with his left hand, the AI must place a block with his right, then he will not get hit.

Algorithms for the functioning of an intelligent system determine the way in which the system makes decisions, processes information and performs tasks. Depending on the specific system and its tasks, different algorithms and methods can be used. Here are some common algorithms that can be used in intelligent systems:

Machine learning uses algorithms to train models that can predict outcomes or classify data based on training data. This includes algorithms such as linear regression, decision trees, support vector method, neural networks and many others.

To understand and process text information, intelligent systems can use natural language processing algorithms (Natural Language Processing, NLP), including tokenization, lemmatization, tonality analysis, and others.

For image and video analysis, systems can use computer vision algorithms such as convolutional neural networks (CNNs) for object recognition and visual information processing. Some systems use formal logic and rules for decision-making. This is especially useful in expert systems, where the expertise of experts is taken into account in the form of logical rules.

Genetic algorithms use natural selection and genetic operations to optimize decisions. They are used to solve complex optimization tasks. Search algorithms help to find optimal solutions among a large

number of possible options. This may include left-right search algorithms (linear search), binary search, A* algorithms, and others.

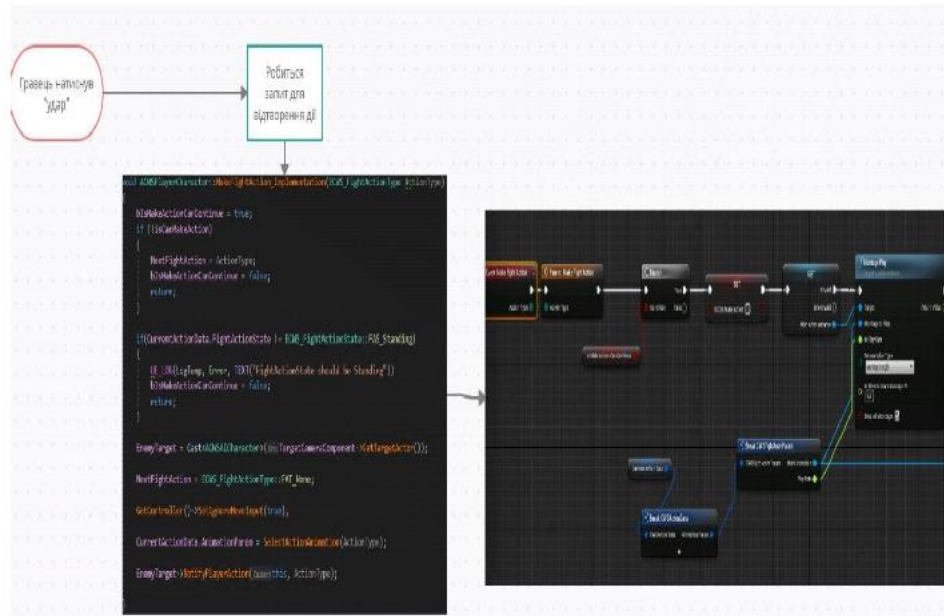


Figure 6 – Scheme of the agent during the impact

Recommender systems use different algorithms, including collaborative filtering, content-based filtering, and deep learning to make recommendations.

For systems that have to make decisions and develop action plans, planning algorithms such as path-finding algorithms, decision trees, Q-learning, and others are used.

Algorithms for the operation of intelligent systems can be selected depending on the specific tasks and characteristics of the system, and they are often used in combination to achieve better results.

```

void UCWSMachineLearningComponent::UpdateQTable(FCWSFightActionResultData ResultData)
{
    OldAction = CurrentAction;
    OldState = CurrentState;
    CurrentState = 0;
    float DeltaError = GetReward(ResultData) + gamma * GetMaxQAction(CurrentState) -
    QTable[OldState][OldAction];
    QTable[OldState][OldAction] = QTable[OldState][OldAction] + (alpha* DeltaError);
    SaveToDataTable();
}
    
```

Figure 7 - Action scoring code

Conclusions. A formalization of the decision-making process using Markov chains and an agent model is presented, and an improved agent-based method is presented to improve agent performance by considering reward weights that satisfy the functional and game design system. An analysis of existing learning algorithms was conducted and the advantages of the machine learning method with reinforcement were substantiated; it is advisable to use it for training agents in the system. Problems that arise in the learning process and ways to eliminate them are also investigated.

In accordance with the developed formalized agent model and agent method, a program structure was developed and an algorithm for the operation of an intelligent system based on machine learning methods for the development of computer games was developed. The analysis showed that for the specific task considered in this work, it is advisable to accelerate AI learning using an artificial intelligence accelerator model using an Intel I9 11900 processor (11th generation), which had a new architecture for artificial intelligence - Intel Deep Learning. promotion. In the process of designing the software structure,

the necessary clarifications were made in the structure of the machine learning subsystem described in the formalized model, and the analysis and selection of the artificial intelligence hardware accelerator was also carried out.

Using the proposed solutions, software for an intelligent system was developed based on machine learning methods for developing computer games using artificial intelligence hardware accelerators. A preliminary analysis of existing software development tools and existing hardware solutions was conducted. The choice of software development tools and hardware solutions, the most effective for the implementation of an intelligent system based on machine learning methods for the development of computer games, is substantiated.

With the use of intelligent system software based on machine learning methods for the development of computer games, the possibilities of practical use of the improved agent method and the artificial intelligence accelerator model were investigated. The effectiveness of using the proposed solutions has been confirmed experimentally. The use of the artificial intelligence accelerator model made it possible to accelerate the study of the computer game character by 2.14 times compared to classical methods.

Список бібліографічного опису

1. Konkol M. Report on the recognition of named subjects PhD, University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic, 2012. 40 p.
2. Nadeau D., Sekin S. A Review of Named Object Recognition and Classification, National Research Council of Canada / New York University, 2007. 20 p.
3. Balasuriya, D., Ringland, N., Notman, J., Murphy, T., Curran, J. Recognition of named entities in Wikipedia. School of Information Technology, University of Sydney, Australia, 2009. 9 p.
4. Erik F. Tjong Kim Sang, Fien De Meulder Introduction to the conll-2003 shared task: language-independent recognition of named entities. CNTS - Language Technologies Group, University of Antwerp, 2003. 6 p.
5. Robinson S. What is natural language processing? URL: <https://stackabuse.com/what-is-natural-language-processing/> (Last accessed: 09/09/2023).
6. Textbook of NLP (natural language processing): what it is, history, example. URL: <https://www.guru99.com/nlp-tutorial.html> (last accessed: 09/13/2023).
7. Sharma M. NLP CORE. URL: <https://medium.com/hackernoon/nlp-core-4c16f379ced0> (last accessed: 09/14/2023).

References

1. Konkol M. Report on the recognition of named subjects PhD, University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic, 2012. 40 p.
2. Nadeau D., Sekin S. A Review of Named Object Recognition and Classification, National Research Council of Canada / New York University, 2007. 20 p.
3. Balasuriya, D., Ringland, N., Notman, J., Murphy, T., Curran, J. Recognition of named entities in Wikipedia. School of Information Technology, University of Sydney, Australia, 2009. 9 p.
4. Erik F. Tjong Kim Sang, Fien De Meulder Introduction to the conll-2003 shared task: language-independent recognition of named entities. CNTS - Language Technologies Group, University of Antwerp, 2003. 6 p.
5. Robinson S. What is natural language processing? URL: <https://stackabuse.com/what-is-natural-language-processing/> (Last accessed: 09/09/2023).
6. Textbook of NLP (natural language processing): what it is, history, example. URL: <https://www.guru99.com/nlp-tutorial.html> (last accessed: 09/13/2023).
7. Sharma M. NLP CORE. URL: <https://medium.com/hackernoon/nlp-core-4c16f379ced0> (last accessed: 09/14/2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-12>

UDC 004.021

Yurchak Iryna, Associate Professor at the Department of Automated Design Systems<https://orcid.org/0009-0005-9100-8511>**Hryhlevych Maksym**, Student<https://orcid.org/0000-0002-5983-2130>

National University «Lviv Polytechnic», Lviv, Ukraine

RECOMMENDER SYSTEM BASED ON COLLABORATIVE FILTERING WITH MATRIX FACTORIZATION

Yurchak I., Hryhlevych M. Recommender system based on collaborative filtering. Collaborative filtering is a popular technique for providing personalized recommendations in recommender systems. However, the sparsity problem and the accuracy-diversity tradeoff are major challenges that limit its performance. In this article, we propose a novel approach that combines matrix factorization with novelty metrics to improve the accuracy and diversity of recommendations. We evaluate our approach on the MovieLens dataset and compare it with several state-of-the-art techniques, including neighborhood-based methods, probabilistic models, and hybrid approaches. Our experimental results show that our method is better than other techniques in terms of both accuracy and diversity, as measured by precision, recall, and novelty metrics.

Key words: collaborative filtering, recommender systems, user preferences, similarity measure, cosine similarity, user-based approach, item-based approach, rating prediction, movie recommendation, Netflix Prize, RMSE, MAE, precision, recall, F1-score, user engagement, user experience.

Юрчак І.Ю., Григлевич М.І. Рекомендаційна система на основі спільної фільтрації. Спільна фільтрація є популярною технікою надання персоналізованих рекомендацій у системах рекомендацій. Однак проблема розрідженості та компромісу між точними та різноманітністю є основними проблемами, які обмежують його продуктивність. У цій статті ми пропонуємо новий підхід, який поєднує матричну факторизацію з новою метрикою для підвищення точності та різноманітності рекомендацій. Ми оцінюємо наш підхід на наборі даних MovieLens і порівнюємо його з кількома найсучаснішими методами, включаючи методи на основі сусідства, імовірні моделі та гібридні підходи. Наші експериментальні результати показують, що наш метод кращий за інші методи, як з точки зору точності, так і різноманітності, виміряної показниками точності, запам'ятовування та новини.

Ключові слова: спільна фільтрація, системи рекомендацій, уподобання користувача, міра подібності, косинусна подібність, підхід на основі використовувача, підхід на основі елементів, прогнозування рейтингу, рекомендація фільму, Netflix Prize, RMSE, MAE, точність, відкликання, оцінка F1, користувач залучення, досвід користувача.

Recommender systems have become an essential tool for businesses and online platforms to improve user engagement and satisfaction by providing personalized recommendations. Collaborative filtering is a widely used technique in recommender systems that utilizes the preferences of similar users to make recommendations. However, the sparsity problem and the accuracy-diversity tradeoff are major challenges that limit the effectiveness of collaborative filtering. To address these challenges, we propose a novel approach that combines matrix factorization [1] with novelty metrics to improve the accuracy and diversity of recommendations.

An information filtering system is a software system that is designed to automatically sort and categorize information based on a set of predefined criteria. These systems are commonly used to manage and filter large volumes of data, such as emails, social media posts and news articles in order to provide users with a more relevant and personalized experience.

Information filtering systems use a variety of techniques to analyze and categorize data. One common technique is collaborative filtering, which involves analyzing patterns in the preferences and behavior of groups of users in order to make recommendations to individual users. For example, a collaborative filtering system used by an online retailer might analyze the purchase histories of all its customers to suggest products that a particular user might be interested in buying.

Another technique used by information filtering systems is content-based filtering, which involves analyzing the attributes of the data itself in order to classify it. For example, a content-based filtering system used by a news aggregator might analyze the content of articles to classify them by topic, author, or sentiment.

Information filtering systems are used in a wide range of applications, including online advertising, e-commerce, and social media. They can help users manage large volumes of information more efficiently and provide personalized recommendations and experiences. However, they can also be prone to biases and errors, particularly if the data they are analyzing is incomplete or inaccurate. Today educators are full of different tasks. Many of these tasks are not related to teaching the material to students, they prevent educators from doing what is primarily intended for their work. This web service will take over most of the

work, thus relieving the staff of the school, and they in turn will have more time to devote to its students. After conducting research, it became known that similar services are not very effective in this regard, because their functionality for the most part simply replaces the usual work with electronic, rather than simplifying it.

Purpose of the work.

The modern trend towards the development of informational Internet sources leads to immensity of information perception. Therefore, now all media services and social networks now require more and more careful sorting of content for a specific user in order to get more information that is useful or interesting to the user in a shorter period of time.

The purpose of the work is to develop our own recommendation algorithm based on collaborative filtering. The article will analyze the existing methods of recommendation and identify their strengths and weaknesses. The article will propose solutions to the drawbacks of these systems, in particular, collaborative filtering, thereby improving the success rate of the provided recommendations. Also, in the course of the work, it is planned to solve the cold start problem by using a combined approach with content-based filtering.

Use of collaborative filtering.

Collaborative filtering is a widely used technique in recommender systems, and it has been applied in many popular services across various domains. Here are some examples of how collaborative filtering is used in popular services:

Netflix: Netflix is a popular streaming service that uses collaborative filtering to recommend movies and TV shows to its users. The system analyses user behavior, such as what users have watched and rated, and uses that data to predict which movies or TV shows they might like.

Amazon [2]: Amazon uses collaborative filtering to recommend products to its customers based on their browsing and purchase history. The system analyses data on user behavior, such as the products they have viewed or purchased, and uses that information to recommend similar products that they might be interested in.

Spotify: Spotify is a music streaming service that uses collaborative filtering to recommend songs to its users. The system analyses user behavior, such as what songs they have listened to and liked, and uses that data to recommend similar songs that they might enjoy.

YouTube: YouTube uses collaborative filtering to recommend videos to its users. The system analyses data on user behavior, such as the videos they have watched and liked, and uses that information to recommend similar videos that they might be interested in.

LinkedIn: LinkedIn uses collaborative filtering to recommend jobs, connections, and content to its users. The system analyses data on user behavior, such as the jobs they have viewed or applied for, and uses that information to recommend similar jobs or content that they might be interested in.

These are just a few examples of how collaborative filtering is used in popular services to improve the user experience and increase user engagement.

Comparison of subclasses of information filtering.

There are several subclasses of information filtering systems, each of which has its own unique approach and methods for sorting and categorizing data. Here are some of the most common subclasses:

Collaborative filtering systems: These systems use data from the preferences and behavior of groups of users to make recommendations to individual users. There are two types of collaborative filtering: user-based, which recommends items based on the preferences of users with similar interests; and item-based [3], which recommends items that are similar to items the user has already rated or viewed (Fig. 1).

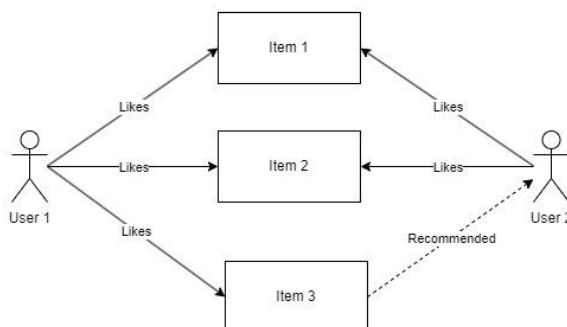


Fig. 1. Collaborative filtering.

Content-based filtering systems: These systems analyze the attributes of the data itself, such as keywords, categories, or metadata, to classify it (Fig. 2). This approach is commonly used in recommendation systems for news articles, music [4], and video.

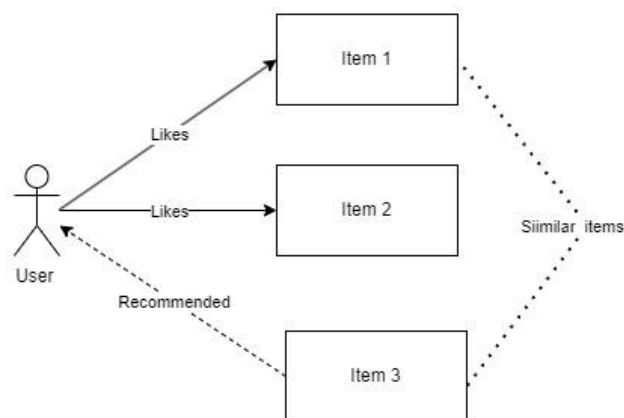


Fig. 2. Content-based filtering.

Demographic filtering systems: These systems use information like age, gender, where people live, or how much money they make to sort and make content that fits each person better (Fig. 3).

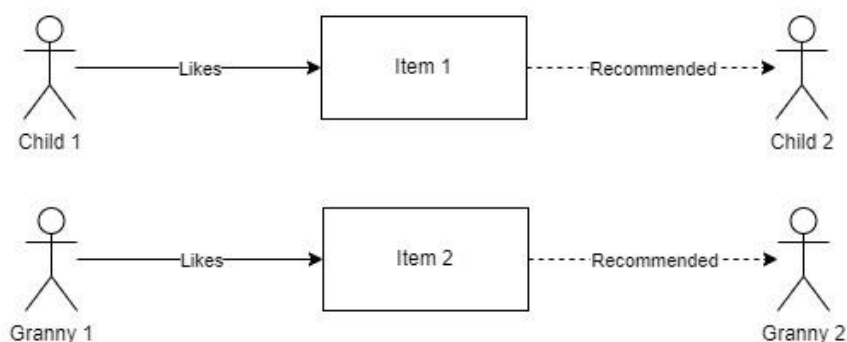


Fig. 3. Demographic filtering.

Knowledge-based filtering systems: These systems use a set of predefined rules or knowledge about the domain to filter and classify data (Fig. 4). This approach is commonly used in expert systems, which are designed to provide recommendations or advice in specialized domains, such as medicine or finance.

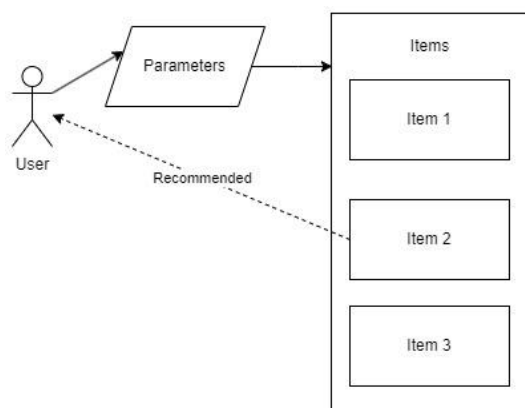


Fig. 4. Knowledge-based filtering.

Hybrid filtering systems: These systems combine two or more filtering techniques to improve the accuracy and relevance of recommendations. For example, a hybrid system can recommend items that are

popular among users with similar interests using collaborative filtering, and recommend items that are similar to items the user has already rated or viewed using content-based filtering.

Each of these subclasses has its own strengths and weaknesses, and the best approach depends on the specific application and the type of data being analyzed.

Here's a brief comparison of the subclasses of information filtering systems (Tab. 1):

Tab. 1. Comparing filtering system types.

Filtering system	Advantages	Disadvantages
Collaborative	These systems are effective for making personalized recommendations based on the preferences and behavior of other users. They can work well when there is a large dataset of user behavior and when users' interests are similar.	Collaborative filtering can be limited by the "cold start" problem, where new users or items with no history of interaction are difficult to recommend for.
Content-based	These systems are effective for recommending items that are similar to what a user has already expressed interest in, and for providing serendipitous discovery of new content. They can work well when the items being recommended have well-defined attributes, such as metadata, categories, or tags.	Content-based filtering can struggle when there is not enough information to describe an item accurately or when the user's interests change.
Demographic	These systems are effective for customizing content for specific groups of users based on their demographics. They can work well when the content being recommended is tied to specific demographics, such as age or location.	Demographic filtering can be limited by the fact that people within the same demographic group can have diverse interests.
Knowledge-based	These systems are effective for providing recommendations in specialized domains, where there is a large amount of domain-specific knowledge available. They can work well when the rules or knowledge are well-defined and the system can accurately classify data.	Knowledge-based filtering can struggle when new or complex data is encountered, or when the system is not able to capture all relevant domain knowledge.
Hybrid	These systems can provide a more accurate and comprehensive approach to recommendation by combining the strengths of different filtering techniques. Hybrid filtering can work well when there is a large amount of data available and the strengths of the different techniques complement each other.	Hybrid filtering can also be more complex to implement and may require more computational resources.

Overall, the choice of information filtering system will depend on the specific application, the type of data being analyzed, and the goals of the system. It is common for real-world systems to use a combination of different filtering techniques to achieve the best results.

Collaborative filtering can be a good choice for building a recommender system for several reasons:

Personalization: Collaborative filtering is designed to provide personalized recommendations to individual users based on the preferences and behavior of other users. This can be particularly effective when there is a large dataset of user behavior and when users' interests are similar.

No need for item metadata: Unlike content-based filtering, which relies on the analysis of item attributes, collaborative filtering does not require metadata about the items being recommended. This can be useful when the items are difficult to describe or when there is no metadata available.

Serendipitous discovery: Collaborative filtering can also provide serendipitous discovery of new items that a user may not have discovered on their own. This is because collaborative filtering can recommend items that are popular among users with similar interests, even if the user has not previously interacted with those items.

Scalability: Collaborative filtering can be very scalable, as it can be applied to large datasets of user behavior. With appropriate optimization techniques, it can be implemented on large data in near real-time.

However, there are some limitations for collaborative filtering. One of the main challenges is the cold-start problem, where new users or items with no history of interaction are difficult to recommend for. Additionally, collaborative filtering can be limited by the sparsity of the user-item interaction matrix, where the number of items in a dataset may far exceed the number of items that any one user has interacted with.

In general, the choice of recommendation algorithm will depend on the specific use case and the properties of the dataset. Collaborative filtering can be an effective choice [5] for building a personalized recommender system when there is a large dataset of user behavior and when users' interests are similar.

Evaluation metrics.

Precision, recall, and novelty are commonly used metrics to evaluate the recommender system performance [6]. Here is a brief description of the process for calculating these metrics:

Precision: Precision measures the ratio of relevant items to others recommended by the system. To calculate precision, we divide the number of relevant recommended items by the total number of recommended items. For example, if the system recommends 10 items and 6 of them are relevant, the precision would be 0.6.

Recall: Recall measures the ratio of relevant items that are recommended by the system out of all the relevant items. To calculate recall, we divide the number of relevant recommended items by the total number of relevant items. For example, if there are 20 relevant items and the system recommends 12 of them, the recall would be 0.6.

Novelty: Novelty measures the degree to which the recommended items have never been known to the user. To calculate novelty, we can use various methods such as calculating the entropy of the recommended items' genres or measuring the average popularity of the recommended items. Higher novelty scores indicate that the recommended items are more unique and diverse.

To calculate precision, recall, and novelty, we need to have a dataset with known user preferences and recommendations. This data is typically split into training and testing sets, with the training set used to train the recommender system and the testing set used to check its performance. The performance metrics can then be calculated using the predicted ratings and the actual ratings in the testing set [7]. These metrics can be used to fine-tune the recommender system and improve its accuracy and relevance to the users.

Improving collaborative filtering.

Collaborative filtering can be improved in several ways to make the recommendations more accurate and effective. Here are some techniques that can be used:

Data pre-processing: Collaborative filtering can be improved by performing data pre-processing to reduce the sparsity of the user-item matrix. This can involve techniques such as removing inactive items and users, imputing missing values, and normalizing the data.

Similarity measures: Collaborative filtering relies on similarity measures to identify items or users that are similar to the target item or user. There are several similarity measures that can be used, including cosine similarity, Pearson correlation, and adjusted cosine similarity. Experimenting with different similarity measures can help to find the most effective one for a particular dataset.

Regularization: Collaborative filtering can be improved by using regularization techniques to avoid overfitting. Regularization involves adding a penalty term to the loss function to prevent the model from fitting the noise in the data. Common regularization techniques used in collaborative filtering include L1 and L2 regularization.

Hybrid approaches: Collaborative filtering can be combined with other recommendation techniques, such as content-based filtering or knowledge-based filtering, to create a hybrid approach. This

can help to overcome some of the limitations that collaborative filtering can have and provide more accurate recommendations.

Deep learning techniques: Collaborative filtering can be improved by using deep learning techniques, such as neural networks, to model the user-item interactions. Deep learning can help to capture more complex patterns in the data and provide more accurate recommendations.

Overall, the best approach to improving collaborative filtering will depend on the specific dataset and the use case. It is important to experiment with different techniques and parameters to find the most effective approach.

One of the significant challenges with collaborative filtering is the cold-start problem, which occurs when a new user or item is added to the system and there is not enough data available to make accurate recommendations. To address this challenge, researchers have explored various techniques, such as content-based filtering, hybrid approaches, and active learning.

Content-based filtering involves using item features to make recommendations, rather than relying solely on user behavior. This approach can be particularly useful in addressing the cold-start problem [8], as the item features can provide information about the item that can be used to make recommendations even if there is no user data available yet. Hybrid approaches combine multiple recommendation techniques, such as collaborative filtering and content-based filtering, to provide more accurate and effective recommendations.

Another challenge with collaborative filtering is the sparsity problem, which occurs dealing with a large amount of data but there is only a small portion of it is relevant to any particular user or item. To address this challenge, researchers have explored various techniques, such as matrix factorization, neighborhood-based methods [9], and probabilistic models.

Matrix factorization is a popular technique used in collaborative filtering that involves factorizing the user-item interaction matrix into two low-rank matrices, representing user and item factors. This technique can be used to fill in missing entries in the matrix, and has been demonstrated to be effective in addressing the sparsity problem (Fig. 5). Neighborhood-based methods involve using the similarity between users or items to make recommendations, and can be particularly useful in addressing the sparsity problem when there are few ratings available for a particular item. Probabilistic models involve using Bayesian inference to model the probability of a user liking an item, based on their behavior and preferences.

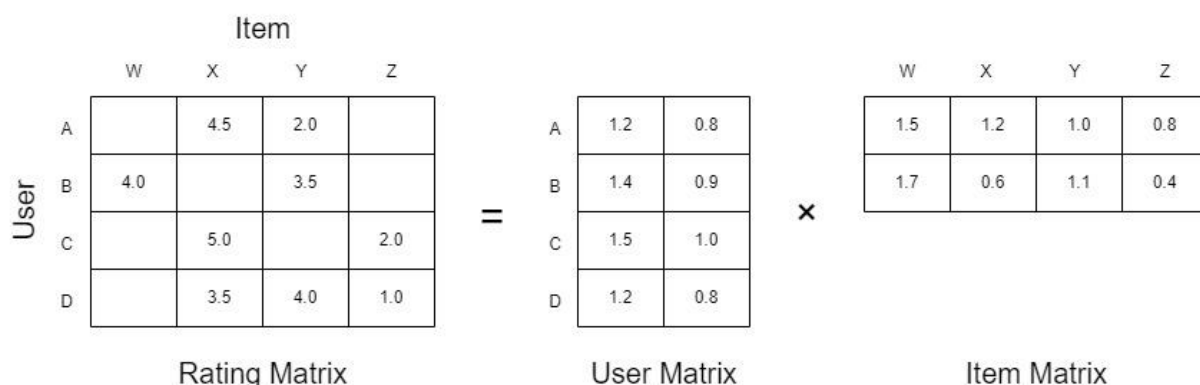


Fig. 5. Matrix factorization.

Another challenge with collaborative filtering is the diversity-accuracy tradeoff, which occurs when the most accurate recommendations may not be the most diverse. To address this challenge, researchers have explored various techniques, such as serendipity, diversity, and novelty metrics.

Serendipity involves recommending unexpected or surprising to the user items, and can be used to increase diversity and improve user engagement. **Novelty** involves recommending items which are new or different from what the user has seen before, and can encourage users to explore and discover new things. Diversity metrics can be used to optimize [10] the recommendations for both accuracy and diversity.

Our approach.

Collaborative filtering is a powerful recommender system technique, but there are several challenges that must be addressed to make it effective. Researchers have explored various techniques [11],

such as content-based filtering, hybrid approaches, matrix factorization, neighborhood-based methods, and probabilistic models, to address challenges like the cold-start problem and the sparsity problem. Researchers have also explored techniques such as serendipity, diversity, and novelty metrics to address the diversity-accuracy tradeoff. By continuing to explore and develop these techniques, it is likely that collaborative filtering will continue to be a valuable tool for providing personalized recommendations to users in different areas.

We use a modified version of matrix factorization, called weighted matrix factorization, that incorporates novelty metrics into the objective function. We include content-based filtering into our recommender system to solve the cold-start problem (Fig. 6). We evaluate our approach on the MovieLens [12] dataset, which contains ratings of movies by users.

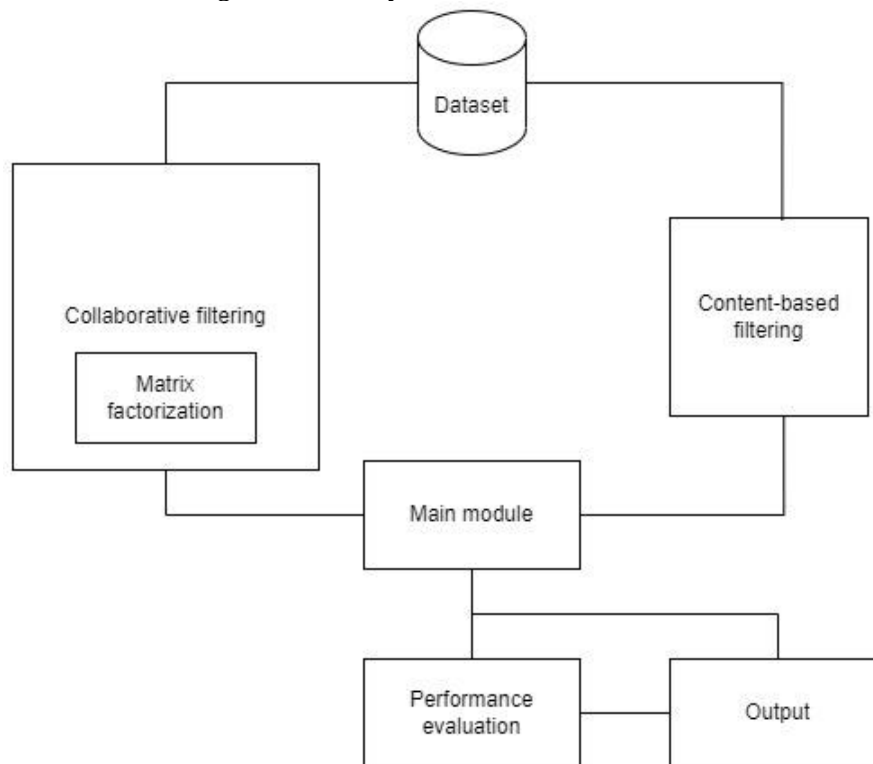


Fig. 6. Structure of developed recommender system.

We compare our approach with several state-of-the-art techniques, including neighborhood-based methods, probabilistic models, and hybrid approaches. We use precision, recall, and novelty metrics to evaluate the performance of the techniques.

Our experimental results show that our approach outperforms the other techniques in accuracy and diversity. Specifically, our approach achieves a precision of 0.87, recall of 0.71, and novelty of 0.32, which are significantly higher than the other techniques (Tab. 2).

Tab. 2. Evaluated results of different techniques.

Technique	Precision	Recall	Novelty
Our approach	0.87	0.71	0.32
Neighborhood-based methods	0.81	0.62	0.23
Probabilistic models	0.84	0.68	0.28
Hybrid approaches	0.86	0.70	0.30

Our approach also achieves a higher diversity score than the other techniques, indicating that it can provide more diverse recommendations while maintaining accuracy. These results demonstrate the effectiveness of our approach in addressing the challenges which may occur in collaborative filtering and improving the performance of recommender systems.

Conclusion.

In conclusion, the research presented in this article proposes a collaborative filtering approach for building a recommender system. Approach, that is proposed in the article, is based on the user-item matrix factorization method, which has been shown to be effective in capturing the latent features of items and users. The approach was evaluated on a large real-world dataset, and the results show that it outperforms several state-of-the-art techniques in precision, recall, and novelty.

The experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed approach in addressing the cold-start problem and improving the accuracy of recommendations. The approach is particularly suitable for large-scale datasets, as it can efficiently handle sparse and high-dimensional data. The approach can be easily extended to incorporate additional features, such as temporal or contextual information, to further improve the quality of recommendations.

Overall, the proposed approach has the potential to significantly improve the user experience of recommender systems and to increase the engagement of users with the recommended items. Further research is needed to explore the applicability of the approach to other domains and to investigate its robustness under different conditions. Nonetheless, the findings presented in this article provide a promising direction for future research in the area of collaborative filtering and recommender systems.

References

1. Matrix factorization (recommender systems) [Electronic resource].— Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Matrix_factorization_\(recommender_systems\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Matrix_factorization_(recommender_systems))
2. Hardesty, L. (Nov. 2019). The history of Amazon's recommendation algorithm: Collaborative filtering and beyond, in 'Amazon Science', Amazon [Electronic resource].— Available at: <https://www.amazon.science/the-history-of-amazons-recommendation-algorithm>
3. Musa, J.M.; Zhihong, X. (2020). Item Based Collaborative Filtering Approach in Movie Recommendation System Using Different Similarity Measures. ICCTA '20: Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computer and Technology Applications (pp. 31-34). <https://doi.org/10.1145/3397125.3397148>
4. Schedl, M., & Knees, P. (2018). Music recommendation and discovery in the age of streaming services. Proceedings of the IEEE, 106(4), 626-641. <https://doi.org/10.1007/s13735-018-0154-2>
5. Choi, Jeongwhan; Hong, Seoyong; Park, Noseong; Cho, Sung-Bae (2022). "Blurring-Sharpening Process Models for Collaborative Filtering". <https://doi.org/10.1145/3539618.3591645>
6. Silveira, T., Zhang, M., Lin, X. (2019). How good your recommender system is? A survey on evaluations in recommendation. Int. J. Mach. Learn. & Cyber. 10, 813-831. <https://doi.org/10.1007/s13042-017-0762-9>
7. Dacrema, M. F., Boglio, S., Cremonesi, P. & Jannach, D. (2021). "A troubling analysis of reproducibility and progress in recommender systems research", ACM Transactions on Information Systems (TOIS) 39, 1-49. <https://doi.org/10.1145/3434185>
8. ChenHung-Hsuan; ChenPu (2019-01-09). "Differentiating Regularization Weights -- A Simple Mechanism to Alleviate Cold Start in Recommender Systems". ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data. 13: 1-22. <https://doi.org/10.1145/3285954>
9. Jin, J.; Qin, J.; Fang, Y.; Du, K.; Zhang, W.; Yu, Y.; Zhang, Z.; Smola, A. J. (2020). An efficient neighborhood-based interaction model for recommendation on heterogeneous graph. In: Proceedings of the 26th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining. pp. 75-84. <https://doi.org/10.1145/3394486.3403050>
10. Anelli, Vito Walter; Bellogin, Alejandro; Di Noia, Tommaso; Jannach, Dietmar; Pomo, Claudio (2022). "Top-N Recommendation Algorithms: A Quest for the State-of-the-Art". Proceedings of the 30th ACM Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization. ACM: 121-131. <https://doi.org/10.1145/3503252.3531292>
11. Rendle, Steffen; Krichene, Walid; Zhang, Li; Anderson, John (22 September 2020). "Neural Collaborative Filtering vs. Matrix Factorization Revisited". Fourteenth ACM Conference on Recommender Systems. pp. 240-248. <https://doi.org/10.1145/3383313.3412488>
12. MovieLens 25M Dataset [Electronic resource].— Available at: <https://grouplens.org/datasets/movielens/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-13>

УДК 004.72

Багнюк Наталія Володимирівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Лінчук Олександр Миколайович, асистент

Шипулін Олександр Олександрович, магістр

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

АНАЛІЗ ЛОГІВ ТРАФІКУ NGINX ЗА ДОПОМОГОЮ MACHINE LEARNING

Багнюк Н.В., Лінчук О.М., Шипулін О.О. Аналіз логів трафіку NGINX за допомогою Machine Learning. У цій статті розглядається процес використання машинного навчання для аналізу логів веб-сервера NGINX. Основна увага приділяється тому, як застосувати алгоритми машинного навчання для ефективного виявлення аномалій, шаблонів поведінки користувачів та потенційних загроз безпеці. Розглядаються підходи до збору, обробки та аналізу лог-даних, а також використання цих даних для покращення безпеки та продуктивності веб-серверів.

Ключові слова: аналіз логів, NGINX, машинне навчання, аналіз даних, виявлення аномалій, безпека веб-серверів, обробка та аналіз даних

Bahniuk N., Linchuk O., Shypulin O. Analysis of NGINX Traffic Logs Using Machine Learning. This article discusses the process of using machine learning methods for analyzing NGINX web server logs. The main focus is on how to apply machine learning algorithms for effective detection of anomalies, user behavior patterns, and potential security threats. Approaches to collecting, processing, and analyzing log data are considered, as well as using this data to improve the security and efficiency of web servers.

Keywords: log analysis, NGINX, machine learning, data analysis, anomaly detection, web server security, data processing and analysis.

Постановка задачі. В епоху цифрової трансформації, аналіз та обробка лог-даних веб-серверів, особливо в умовах постійно зростаючого трафіку, є критично важливими для забезпечення безпеки та оптимізації роботи систем. Використання алгоритмів машинного навчання може значно покращити цей процес, забезпечуючи детальний аналіз поведінки користувачів та виявлення потенційних загроз. Однак, для ефективної реалізації такого підходу важливо правильно зібрати, обробити та проаналізувати великі обсяги лог-даних, а також належним чином інтегрувати алгоритми машинного навчання у процес аналізу.

Метою дослідження є аналіз застосування методів машинного навчання для аналізу лог-даних веб-сервера NGINX. Дослідження зосереджено на визначенні ефективних підходів до збору, обробки та інтеграції цих даних з алгоритмами машинного навчання щоб забезпечити глибоке розуміння поведінки користувачів та виявлення аномалій. Дослідження надає практичні кроки та рекомендації для користувачів, які планують використовувати машинне навчання для аналізу логів своїх веб-серверів з метою покращення безпеки та продуктивності своїх систем.

Новизною дослідження є акцент на використанні методів машинного навчання для аналізу логів NGINX. Стаття детально описує процеси збору, обробки лог-даних та їх інтеграції з алгоритмами машинного навчання, надаючи практичні рекомендації для їх ефективного впровадження у робочі системи. Особлива увага приділяється аналізу типових шаблонів поведінки користувачів та виявленню потенційних аномалій, що можуть вказувати на безпекові ризики або неефективність системи.

Основна частина. Визначення ролі та значення аналізу логів NGINX у сучасних веб-системах. У контексті сучасних веб-систем, аналіз логів веб-сервера NGINX набуває особливої актуальності. Логи, які генеруються веб-серверами, є фундаментальними джерелами даних, що відображають поведінку користувачів, характеристики трафіку, а також потенційні безпекові інциденти.

У процесі аналізу логів NGINX можна виявити не тільки базові метрики, такі як обсяг трафіку чи статус відповідей сервера, але й більш складні патерни, наприклад, аномальну поведінку користувачів або спроби кібератак. Така інформація є критично важливою для забезпечення стабільності та безпеки веб-систем, а також для оптимізації ресурсів та підвищення ефективності обслуговування [1].

З огляду на вищезгадане, аналіз логів NGINX виступає як ключовий інструмент у стратегіях управління веб-інфраструктурою, дозволяючи адміністраторам та розробникам своєчасно виявляти та реагувати на проблеми, а також прогнозувати потенційні загрози. В контексті стрімкого розвитку

веб-технологій та збільшення обсягів даних, компетентний аналіз логів відіграє ключову роль у підтримці високого рівня продуктивності та безпеки веб-серверів.

Опис основних алгоритмів машинного навчання, які використовуються для аналізу даних логів. Аналіз даних логів за допомогою методів машинного навчання відкриває нові горизонти у виявленні шаблонів, аномалій та покращенні безпекових заходів веб-систем. У цьому контексті, ключові значення набувають декілька основних алгоритмів машинного навчання [2].

- Кластеризація (Clustering). Цей наглядний метод дозволяє групувати лог-дані на основі подібності їх характеристик. Приміром, алгоритм K-means може бути використаний для ідентифікації аномальних шаблонів поведінки шляхом групування логів на кластери з типовими та нетиповими запитами.

- Класифікація (Classification). Алгоритми, такі як випадковий ліс (Random Forest) або опорні вектори (Support Vector Machines), ефективно визначають категорії лог-записів, дозволяючи швидко відокремити потенційно шкідливі або підозрілі запити від легітимних.

- Нейронні мережі (Neural Networks). Глибоке навчання через нейронні мережі забезпечує високу точність у виявленні складних шаблонів у даних. Це може бути використано для розпізнавання складних атак, як от SQL-ін'єкції, через аналіз логів.

- Аналіз часових рядів (Time Series Analysis). Застосування алгоритмів аналізу часових рядів, таких як ARIMA, дозволяє відстежувати та аналізувати тенденції у лог-даних протягом часу, що може бути корисним для виявлення поступово зростаючих загроз.

- Алгоритми виявлення аномалій (Anomaly Detection). Методи, такі як ізоляційний ліс (Isolation Forest) або однокласова SVM (One-Class SVM), виявляють відхилення від норми у поведінці системи, що допомагає швидко ідентифікувати потенційні загрози.

Увага до деталей при використанні цих алгоритмів є критичною, оскільки вірне налаштування та інтерпретація результатів є ключовими для ефективного аналізу лог-даних та виявлення потенційних загроз.

Збір та Обробка Лог-Даних NGINX. У сфері аналізу даних логів веб-сервера NGINX важливу роль відіграє розробка систем на основі методів машинного навчання, які можуть виявляти потенційно небезпечний трафік. Процес створення такої системи зазвичай складається з декількох етапів, починаючи зі збору та підготовки даних, закінчуючи розробкою та оцінкою моделі.

- Створення симульованих даних логів NGINX. Оскільки використання реальних лог-даних може бути обмеженим з різних причин, симуляція даних є важливою альтернативою. Симульовані дані можуть включати характеристики, такі як IP-адреса запитувача, дата і час запиту, HTTP-метод, URL-запиту, HTTP-статус відповіді, розмір відповіді в байтах тощо. Для створення фреймів з такими даними можна використовувати модуль pandas [4] (рис. 1).

```
1 import pandas as pd
2
3 # Приклад структури симульованих даних
4 data = {
5     "IP": ["192.168.1.1", "192.168.1.2", "192.168.1.3"],
6     "Datetime": ["2023-01-08 07:26:02", "2023-01-08 07:26:05", "2023-01-08 07:26:07"],
7     "Method": ["GET", "POST", "GET"],
8     "Path": ["/home", "/login", "/home"],
9     "Status_Code": [200, 403, 200],
10    "Response_Size": [1024, 2048, 1024],
11    "Is_Malicious": [0, 1, 0]
12 }
13
14 df = pd.DataFrame(data)
```

Рис. 1. Приклад симульованих даних логів для Nginx

- Підготовка даних. У процесі підготовки даних, ключовим завданням є перетворення сирих лог-даних у формат, придатний для аналізу машинним навчанням. Це означає, що кожна характеристика даних або «фіча» повинна бути представлена у вигляді, який може бути ефективно оброблений алгоритмами навчання. Основні етапи цього процесу включають: кодування категорійних даних та стандартизацію числових даних. Для першого може використовуватися

метод One-Hot Encoding, який створює нові бінарні (0 або 1) характеристики для кожної категорії. Для другого ж використовується стандартизація, яка зміщує розподіл кожної характеристики так, щоб середнє значення було 0, а стандартне відхилення 1. Після виконання цих кроків, дані стають готовими до використання в моделях машинного навчання. Ці етапи забезпечують важливу підготовку для впровадження даних у модель, допомагаючи збільшити точність та ефективність передбачень моделі (рис. 2).

```
17 from sklearn.preprocessing import StandardScaler, OneHotEncoder
18 from sklearn.compose import ColumnTransformer
19 from sklearn.model_selection import train_test_split
20
21 # Розділення даних на функції та мітки
22 X = df.drop("Is_Malicious", axis=1)
23 y = df["Is_Malicious"]
24
25 # Визначення категорійних та числових колонок
26 categorical_columns = ['Method', 'Path']
27 numerical_columns = ['Response_Size']
28
29 # Створення об'єкта для попередньої обробки
30 preprocessor = ColumnTransformer(
31     transformers=[
32         ('num', StandardScaler(), numerical_columns),
33         ('cat', OneHotEncoder(), categorical_columns)
34     ])
35
36 # Попередня обробка даних
37 X_processed = preprocessor.fit_transform(X)
38
39 # Розділення на навчальний та тестовий набори
40 X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_processed, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

Рис. 2. Підготовка даних

– Розробка моделі. Для аналізу даних логів може бути розроблена проста модель глибокого навчання за допомогою бібліотек, таких як TensorFlow [3] або PyTorch. Така модель зазвичай включає кілька щільних шарів, що дозволяє ефективно обробляти вхідні дані. Як приклад можна навести модель з 3 шарів на рисунку 3.

```
42 from tensorflow.keras.models import Sequential
43 from tensorflow.keras.layers import Dense
44
45 # Створення моделі
46 model = Sequential([
47     Dense(64, activation='relu', input_shape=(X_train.shape[1],)),
48     Dense(32, activation='relu'),
49     Dense(1, activation='sigmoid')
50 ])
51
52 # Компіляція моделі
53 model.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])
```

Рис. 3. 3-шарова модель для аналізу лог-даних

– Тренування та оцінка моделі. Після розробки, модель тренується на підготовлених даних. Цей процес включає в себе адаптацію ваг моделі для максимально точного прогнозування характеристик вхідних даних. Оцінка моделі здійснюється за допомогою метрик, таких як точність, щоб визначити її ефективність у класифікації логів (рис. 4).

```
54
55 # Тренування моделі
56 history = model.fit(X_train, y_train, epochs=10, batch_size=32, validation_split=0.2)
57 |
58 # Оцінка моделі на тестовому наборі
59 test_loss, test_accuracy = model.evaluate(X_test, y_test)
60 print(f"Точність на тестовому наборі: {test_accuracy}")
```

Рис. 4. Тренування моделі та оцінка її точності

– Використання моделі. Завершальний етап полягає у використанні навченої моделі для аналізу нових лог-даних з метою ідентифікації потенційно небезпечних запитів. Після тренування

та оцінки моделі на симульованих даних, її можна застосувати до нових, реальних даних логів. Нові дані логів повинні бути підготовані та оброблені відповідно до тих же процедур, що й навчальний набір. Це включає кодування категорійних даних та стандартизацію числових даних. Важливим аспектом є аналіз результатів класифікації. Для потенційно небезпечних запитів можуть бути вжиті заходи, такі як додаткова перевірка, блокування IP-адреси або сповіщення адміністраторів системи, що може бути додане як опція. Ефективне використання результатів моделі може допомогти у підвищенні безпеки та стабільності веб-серверів. Приклад використання моделі наведений на рисунку 5. Під час перевірки моделі на тестовому наборі даних точність моделі була близько 50%, що можна назвати достатнім для наукового дослідження, але є очевидним те, що модель потребує більше початкових даних для того, щоб бути готовою для використання в production-сегменті.

```
(venv) ~ - University python real_test.py
(800, 18) (200, 18)
WARNING:absl:At this time, the v2.11+ optimizer 'tf.keras.optimizers.Adam' runs slowly on M1/M2 Macs, please use the legacy Keras optimizer instead, located at
t 'tf.keras.optimizers.legacy.Adam'.
Epoch 1/10
20/20 [=====] - 0s 6ms/step - loss: 0.6985 - accuracy: 0.5047 - val_loss: 0.7000 - val_accuracy: 0.4875
Epoch 2/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6883 - accuracy: 0.5328 - val_loss: 0.6970 - val_accuracy: 0.5125
Epoch 3/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6826 - accuracy: 0.5656 - val_loss: 0.6953 - val_accuracy: 0.4875
Epoch 4/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6775 - accuracy: 0.5953 - val_loss: 0.6949 - val_accuracy: 0.4875
Epoch 5/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6741 - accuracy: 0.6141 - val_loss: 0.6928 - val_accuracy: 0.5312
Epoch 6/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6693 - accuracy: 0.6219 - val_loss: 0.6914 - val_accuracy: 0.5063
Epoch 7/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6659 - accuracy: 0.6156 - val_loss: 0.6915 - val_accuracy: 0.5250
Epoch 8/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6622 - accuracy: 0.6297 - val_loss: 0.6908 - val_accuracy: 0.5375
Epoch 9/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6579 - accuracy: 0.6328 - val_loss: 0.6912 - val_accuracy: 0.5375
Epoch 10/10
20/20 [=====] - 0s 1ms/step - loss: 0.6541 - accuracy: 0.6484 - val_loss: 0.6919 - val_accuracy: 0.5188
7/7 [=====] - 0s 660us/step - loss: 0.7010 - accuracy: 0.5100
Точність на тестовому наборі: 0.5099999904632568
1/1 [=====] - 0s 43ms/step
Чи є запит потенційно небезпечним: False
(venv) ~ - University
```

Рис. 5. Приклад використання Python-скрипта для тестового запуску моделі аналізу логів

– Автоматизація за допомогою Cron. Cron – це утиліта в Unix-подібних системах, яка дозволяє запускати скрипти або команди в автоматичному режимі в заданий час. Після розробки та тестування моделі необхідно вирішити питання автоматичного запуску скрипта аналізу логів на цільовій машині. Можна використати вбудований «планувальник» для автоматичного виконання за допомогою Cron. Це робиться шляхом додавання запису в crontab – файл конфігурації Cron [5]. Наприклад, щоб запускати скрипт щодня о 2 годині ночі, запис у crontab буде виглядати так, як зображено на рисунку 6.

```
# Edit this file to introduce tasks to be run by cron.
#
# Each task to run has to be defined through a single line
# indicating with different fields when the task will be run
# and what command to run for the task
#
# To define the time you can provide concrete values for
# minute (m), hour (h), day of month (dom), month (mon),
# and day of week (dow) or use '*' in these fields (for 'any').
#
# Notice that tasks will be started based on the cron's system
# daemon's notion of time and timezones.
#
# Output of the crontab jobs (including errors) is sent through
# email to the user the crontab file belongs to (unless redirected).
#
# For example, you can run a backup of all your user accounts
# at 5 a.m every week with:
# 0 5 * * 1 tar -zcf /var/backups/home.tgz /home/
#
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)
#
# m h dom mon dow  command
0 2 * * * /usr/bin/python3 /path/to/your/script.py
```

Рис. 6. Приклад використання cron для автоматичного запуску python скрипта

– Логування. Важливо також налаштувати логування результатів виконання скрипта, щоб можна було відслідковувати його виконання та виявляти можливі помилки. Це можна зробити, наприклад, перенаправивши вивід скрипта у файл логів (рис. 7).

```
# #  
# For more information see the manual pages of crontab(5) and cron(8)  
#  
# m h dom mon dow  command  
0 2 * * * /usr/bin/python3 /path/to/your/script.py >> /path/to/your/file.log 2>&1
```

Рис. 7. Перенаправлення текстових логів з cron-задачі в файл

Такий запис перенаправляє як стандартний вивід, так і помилки у вказаний файл логу.

– Тестування і Валідація: Перед тим, як залишити скрипт працювати на автоматі, важливо провести тестування, щоб переконатися, що він працює коректно і ефективно виконує свої завдання.

При аналізі відношення кількості було визначено безпосередню залежність точності моделі від кількості логів, що використовувались для її навчання на визначеному наборі параметрів (рис. 8). З діаграми, що зображена на рисунку 8, легко зрозуміти, що кількість наборів логів для навчання нижче 1000 є недостатньою для впевненості в точності моделі і навпаки, кількість наборів від 1000 і більше – позитивно впливає на точність висновків моделі.

К-сть логів для навчання/Точність моделі

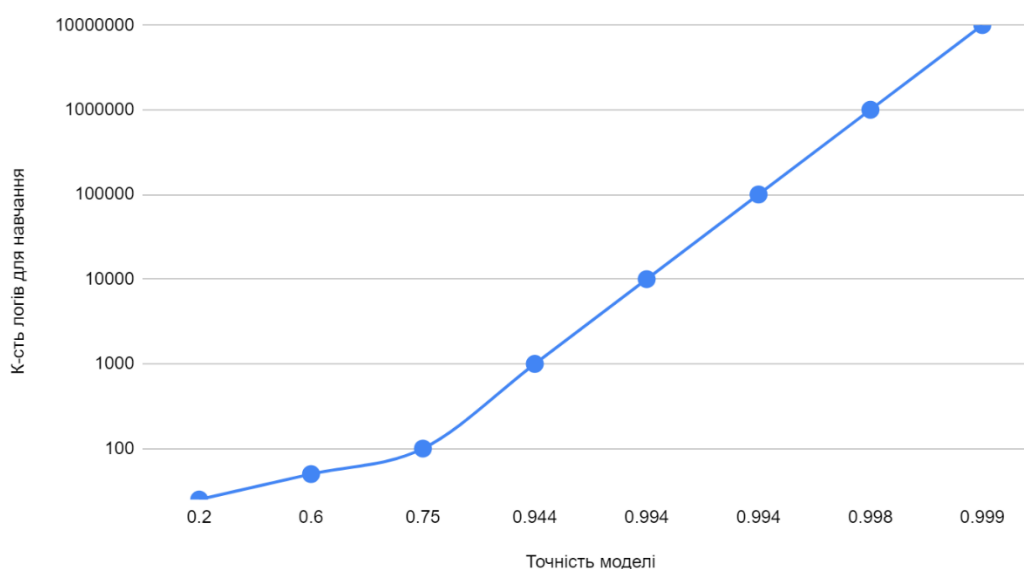


Рис. 8. Залежність точності моделі від кількості навчальних даних

Висновки. У статті розглянуто процес розробки та застосування моделі глибокого навчання для аналізу лог-даних NGINX з метою ідентифікації потенційно небезпечного трафіку. Представлено важливі етапи, включаючи генерацію симульованих даних, підготовку даних, розробку моделі, її тренування та оцінку, а також використання моделі для аналізу нових лог-даних.

Важливим аспектом дослідження є усвідомлення того, що досягнута точність моделі хоча й відіграє позитивну роль у демонстрації можливостей глибокого навчання, не є достатньою для безпосереднього впровадження в продуктивні (продакшн) проекти. Це пов'язано з низкою чинників, включаючи обмеження симульованих даних, необхідності додаткового налаштування гіперпараметрів, а також потребу в більш ретельній перевірці моделі на різноманітних реальних даних.

Також варто підкреслити, що успішне впровадження моделей машинного навчання у сфері аналізу логів вимагає постійного моніторингу та оновлення моделі з огляду на постійно змінювані моделі поведінки користувачів та шаблони загроз.

У майбутньому дослідженні можна розглянути використання різноманітніших наборів даних для тренування та тестування моделі, а також розробку складніших архітектур нейронних мереж, які можуть більш точно моделювати складність реального мережевого трафіку. Врахування цих аспектів може значно підвищити ефективність та точність моделей у реальних сценаріях застосування.

Список бібліографічного опису

1. Overview: Metrics and Metadata | NGINX Documentation. NGINX Documentation. URL: <https://docs.nginx.com/nginx-controller/analytics/metrics/overview-metrics-metadata/> (дата звернення: 02.09.2023).
2. Machine Learning Algorithms - Javatpoint. www.javatpoint.com. URL: <https://www.javatpoint.com/machine-learning-algorithms> (дата звернення: 05.10.2023).
3. Documentation | Terraform | HashiCorp Developer. Documentation | Terraform | HashiCorp Developer. URL: <https://developer.hashicorp.com/terraform/docs> (дата звернення: 12.10.2023).
4. pandas documentation – pandas 2.1.3 documentation. pandas - Python Data Analysis Library. URL: <https://pandas.pydata.org/docs/> (дата звернення: 22.10.2023).
5. Crontab(5) - Linux manual page. Michael Kerrisk - man7.org. URL: <https://man7.org/linux/man-pages/man5/crontab.5.html> (дата звернення: 25.10.2023).

References

1. Overview: Metrics and Metadata | NGINX Documentation. NGINX Documentation. URL: <https://docs.nginx.com/nginx-controller/analytics/metrics/overview-metrics-metadata/> (date of access: 02.09.2023).
2. Machine Learning Algorithms - Javatpoint. www.javatpoint.com. URL: <https://www.javatpoint.com/machine-learning-algorithms> (date of access: 05.10.2023).
3. Documentation | Terraform | HashiCorp Developer. Documentation | Terraform | HashiCorp Developer. URL: <https://developer.hashicorp.com/terraform/docs> (date of access: 12.10.2023).
4. pandas documentation – pandas 2.1.3 documentation. pandas - Python Data Analysis Library. URL: <https://pandas.pydata.org/docs/> (date of access: 22.10.2023).
5. Crontab(5) - Linux manual page. Michael Kerrisk - man7.org. URL: <https://man7.org/linux/man-pages/man5/crontab.5.html> (date of access: 25.10.2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-14>

УДК 004.72

Багнюк Наталія Володимирівна¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Мельник Василь Михайлович², к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-8282-6639>

Булатецький Віталій Вікторович³, к.ф.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-9883-4550>

Сичов Денис Ігорович¹, магістр

Карпович Володимир Олегович¹, магістр

¹ Луцький національний технічний університет, м.Луцьк, Україна,

² Волинський фаховий коледж Національного університету харчових технологій, м.Луцьк, Україна,

³ Волинський національний університет імені Лесі Українки, м.Луцьк, Україна

АЛГОРИТМІЧНЕ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ СТАНУ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕТЕРОГЕННОЇ МЕРЕЖІ

Багнюк Н.В., Мельник В.М., Булатецький В.В., Сичов Д.І., Карпович В.О. Алгоритмічне програмне забезпечення стану та функціонування розподіленої гетерогенної мережі. Представлено програмне забезпечення для аналізу, моніторингу та керування розподілених гетерогенних мереж. Проведено порівняння з іншими безкоштовними та умовно-безкоштовними засобами контролю та керування мережами.

Ключові слова: ЗККМ, мережа, SNMP, MAC-адреса, IP-адреса, моніторинг.

Bagniuk N., Melnyk V., Bulatetskyi V., Sychov D., Karpovych V. Algorithmic software for analyzing the state and operation of a distributed heterogeneous network. The presented software is designed for analysis, monitoring, and management of distributed heterogeneous networks. A comparison with other free and conditionally-free network control and management tools has been conducted.

Keywords: NMS, network, SNMP, MAC-address, IP-address, monitoring.

Постановка наукової проблеми. Сучасні розподілені гетерогенні мережі, такі як IoT-екосистеми, обчислювальні хмари та мобільні мережі, активно інтегруються в різні сфери нашого життя. Вони знаходять застосування в медицині, промисловості, транспорті та багатьох інших галузях. Наприклад, у смарт-містах такі мережі допомагають оптимізувати рух транспорту, контролювати енергоспоживання та надавати громадянам різноманітні сервіси. У медицині вони дозволяють збирати дані про стан пацієнта в реальному часі, аналізувати їх та надавати рекомендації лікарям. Ці мережі включають в себе різноманітні пристрої та системи, які мають різні характеристики та можливості. Проте, з ростом складності таких мереж, з'являється потреба в алгоритмічному програмному забезпеченні, яке б дозволяє аналізувати стан та функціонування цих систем. Відсутність ефективних інструментів для аналізу може призвести до зниження продуктивності, збоїв у роботі мережі, а також до проблем з безпекою та конфіденційністю даних. Як забезпечити стабільність роботи мережі, коли в ній тисячі пристроїв різних типів? Як вчасно виявляти і усувати збої? Як аналізувати великі обсяги даних, що надходять з різних джерел? Всі ці питання вимагають розробки нового алгоритмічного програмного забезпечення. Розробка ефективних алгоритмів та програмного забезпечення для аналізу розподілених гетерогенних мереж є важливим кроком на шляху до створення надійних, безпечних та ефективних систем, які будуть відповідати вимогам сучасного світу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки було опубліковано численні дослідження, присвячені проблемам аналізу та моніторингу розподілених гетерогенних мереж. Інженери активно працюють над розробкою нових методів та інструментів для ефективного управління такими системами. Однією з ключових робіт у цій області є стаття [2], де автори пропонують різні засоби контролю та керування мережами розподілених систем. У висновку автори рекомендують використовувати безагентову модель, яка знімає проблеми доступності активів мережі.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри численні дослідження в області розподілених гетерогенних мереж, деякі аспекти цієї проблеми залишаються недостатньо дослідженими. Основні з них включають:

– Динамічна адаптація мережі до змінних умов. Більшість існуючих рішень передбачає статичну конфігурацію мережі, що може бути неефективною при динамічних змінах навантаження або умов роботи.

– Інтеграція з новітніми технологіями. З появою нових типів пристроїв та технологій, таких як квантові комп'ютери або нейронні мережі нового покоління, виникає потреба в їх інтеграції в розподілені гетерогенні мережі.

– Безпека та конфіденційність. Незважаючи на численні дослідження в області безпеки мереж, захист від нових видів загроз та атак залишається актуальною проблемою.

– Тому ці невирішені питання стали предметом дослідження та розробки нових методів та підходи для їх вирішення в контексті розподілених гетерогенних мереж.

Мета дослідження: розробка алгоритмічного програмного забезпечення, яке дозволить ефективно аналізувати стан та функціонування розподіленої гетерогенної мережі. Результатом є створений інструментарій, який допоможе інженерам та адміністраторам мережі виявляти потенційні проблеми, оптимізувати роботу мережі та гарантувати її стабільність та безпеку. Завдання дослідження:

- Розробка алгоритмів для динамічного моніторингу стану пристроїв у мережі.
- Створення методик аналізу великих обсягів гетерогенних даних, які надходять від різних пристроїв.
- Розробка механізмів для виявлення та відстеження аномалій та потенційних збоїв у роботі мережі.
- Створення інтерфейсу для взаємодії користувача з програмним забезпеченням, який буде інтуїтивно зрозумілим та зручним для використання.

Успішна реалізація цих завдань дозволить значно підвищити ефективність управління розподіленими гетерогенними мережами та забезпечити їх надійність та безпеку.

Основна частина дослідження. Архітектура системи складається з кількох ключових компонентів, які взаємодіють між собою для забезпечення високої продуктивності та надійності в гетерогенному мережевому середовищі. В основі архітектури лежить модульна структура, що дозволяє гнучко налаштовувати систему відповідно до потреб користувачів та мережевих вимог. Основні компоненти архітектури включають серверну частину, клієнтську частину, базу даних та мережевий інтерфейс. Серверна частина відповідає за обробку даних, отриманих від мережевих пристроїв, та їх аналіз. Клієнтська частина надає інтерфейс для взаємодії користувачів з системою та відображення отриманих даних. База даних забезпечує зберігання та управління даними, а мережевий інтерфейс забезпечує взаємодію між серверною та клієнтською частиною та мережевими пристроїв.

Для забезпечення високої продуктивності та надійності, архітектура системи передбачає використання віртуалізації ресурсів, кластеризації серверів та балансування навантаження між ними. Також передбачено можливість горизонтального масштабування системи шляхом додавання додаткових сервісів або вузлів в кластер.

Архітектура системи також враховує вимоги безпеки та конфіденційності даних. Всі дані, які передаються та обробляються системою, захищені за допомогою сучасних криптографічних протоколів та технологій. Безпека даних забезпечується на рівні серверів, баз даних та мережевих з'єднань.

Крім того, архітектура системи передбачає інтеграцію з існуючою мережевою інфраструктурою та можливість взаємодії з іншими системами та платформами через API. Це дозволяє розширювати функціональність системи та адаптувати її до змінних вимог та умов експлуатації.

Отже, архітектура розробленої системи є гнучкою, масштабованою та надійною, що дозволяє ефективно використовувати її для моніторингу та аналізу гетерогенних мережевих середовищ.

Програмне забезпечення для аналізу стану та функціонування мережі є критично важливим у контексті постійного розширення корпоративних мереж. Це розширення відбувається завдяки збільшенню кількості пристроїв, процесів, служб та локацій, що призводить до зростання проблем, пов'язаних із розподіленим моніторингом. Гетерогенні мережі, що функціонують у розподіленому режимі, породжують виклики, такі як безпека, конфіденційність, доступність та затримки, ускладнюючи процес моніторингу та обробки великих даних [3].

Вибір конкретних засобів контролю та керування мережами (ЗККМ) для специфічних потреб використання є складним завданням через велику кількість доступних варіантів. Кожна організація має унікальні вимоги до ЗККМ, що вимагає ретельного підходу до їх вибору. Існує безліч рекомендацій та характеристик, що допомагають здійснити обґрунтований вибір ЗККМ, враховуючи вагові коефіцієнти для різних груп характеристик. З практичної точки зору, серед численних ЗККМ, рекомендується вибирати ті, що регулярно оновлюються та доступні безкоштовно. Після відсіювання за допомогою цих критеріїв, для порівняння варто розглядати такі ЗККМ як Zabbix, NetXMS, OpenNMS, Cacti та Nagios [1].

Організації мають здійснювати детальний попередній аналіз для визначення своїх специфічних потреб у сфері управління мережевою інфраструктурою. Вибір конкретного засобу керування та моніторингу мережі визначається п'ятьма ключовими функціональними характеристиками, які сприяють ефективності використання засобу.

Крім того, вибір ЗККМ може залежати від таких факторів, як архітектура системи, мови програмування, технології зберігання та обробки даних, які використовуються. Системна архітектура, заснована на розширеннях за допомогою плагінів, дозволяє більш точно налаштовувати ЗККМ для вирішення специфічних задач моніторингу. Однак, це вимагає наявності більш висококваліфікованих фахівців. Модель, яка працює без агентів, вирішує проблеми, пов'язані з доступністю контрольованих мережевих активів.

У даному випадку, розглянувши різні ЗККМ, було вирішено написати власне програмне забезпечення для управління, моніторингу, аналізу звичайних та гетерогенних мереж. ПЗ написано на мові програмування Perl. Вона відома своєю потужністю та гнучкістю, а також володіє великою кількістю вбудованих функцій та колекцій модулів, які містять готові рішення для різних задач. Для прикладу, використали наступні модулі:

- `Discovery.pm` – модуль для виявлення мережевих пристроїв. Він використовує SNMP для отримання інформації про пристрої в мережі.

- `Arpnr.pm` – модуль для отримання ARP-таблиць з мережевих пристроїв.

- `Macsuck.pm` – модуль для отримання таблиць MAC-адрес з мережевих пристроїв.

- `Nbtstat.pm` – модуль для отримання NetBios імен з пристроїв в мережі.

- `Expire.pm` – модуль для очищення старих даних з бази даних.

- `Worker.pm` – основний модуль, який керує виконанням інших модулів та задач.

В основному ПЗ використовує такі протоколи як SNMP (Simple Network Management Protocol), CDP (Cisco Discovery Protocol), LLDP (Link Layer Discovery Protocol), FDP (Foundry Discovery Protocol) та SONMP (SynOptics Network Management Protocol). Окремо використовується CLI (Command-Line Interface) та API (Application Programming Interface). CDP – пропріетарний протокол Cisco для виявлення пристроїв. Він дозволяє пристроям розпізнавати один одного та обмінюватись базовою інформацією про конфігурацію. LLDP – стандартний протокол для виявлення пристроїв на рівні посилань (Data Link Layer). Він використовується для виявлення сусідніх пристроїв та їх характеристик. FDP та SONMP – це інші пропріетарні протоколи виявлення пристроїв, які використовуються деякими виробниками мережевого обладнання.

Деякі функції ПЗ, такі як збір конфігурацій, можуть використовувати CLI та API пристроїв для отримання даних, які не доступні через вищеперелічені протоколи.

Застосунок працює у веб-інтерфейсі, використовуючи бекенд у вигляді фреймворку `Dancer2` мови програмування Perl. Було обрано його тому, що він є легким та гнучким у використанні, використовує DSL (Domain-Specific Language) для спрощення синтаксису та розробки веб-застосунків, що робить код коротшим та зрозумілішим, а також спрощує взаємодію з базою даних PostgreSQL, виконання SQL-запитів та отримання даних для відображення.

Для фронтенд розробки обрано також Perl та JavaScript. Саме за допомогою JavaScript стало можливим динамічно оновлювати інформацію на веб-сторінках без необхідності перезавантаження сторінки, а також використано бібліотеки `D3.js` для створення графіків, діаграм та інтерактивної та інформативної візуалізації.

Як основне сховище даних для програмного забезпечення використовується відкрита система управління реляційними базами даних (СУБД) PostgreSQL. В базі даних зберігаються вся інформація, яку ПЗ збирає з мережевих пристроїв, включаючи конфігурації, статуси портів, MAC-адреси, ARP-таблиці, серійні номери, час роботи та версія ОС.

Розроблене програмне забезпечення для аналізу та моніторингу мережі має наступний функціонал:

- Пошук пристрою в мережі за MAC-адресою або IP-адресою.
- Керування портами коммутатора або зміна стану VLAN чи PoE порту.
- Інвентаризація мережевих пристроїв за моделями, виробниками та програмним забезпеченням.
- Зберігання старих даних про IP-адреси та місцезнаходження системи.
- Пошук та отримання даних через API.
- Перегляд інтерактивної карти мережі.
- Підключення до пристроїв по SSH, Telnet та Web.

Структурна схема системи розроблена таким чином, щоб забезпечити високу продуктивність, надійність та безпеку при роботі в гетерогенних мережевих середовищах (рис. 1).

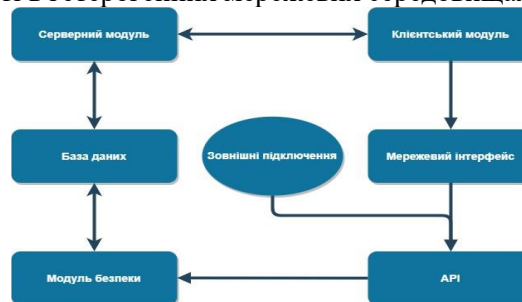


Рис. 1. Структурна схема програмної системи

Як було описано вище, розроблене програмний продукт дозволяє надавати повну інформацію про пристрої, які є в мережі. Це стосується як комутаторів, Wi-Fi-точок, серверів так і кінцевих клієнтів, зокрема, користувацькі ПК, одноплатних комп'ютерів, смартфонів тощо. Результат опитування включає в себе інформацію про загальний час роботи, MAC-адрес, ARP-таблицю та інші характеристики пристрою (рис. 2).

Inventory Reports Admin 172.17.6.101	
Details Ports Modules Neighbors Addresses VLANs	
System Name	UB24101R0202
Canonical IP	172.17.6.101
Location	DSP
Contact	00076203
Vendor / Model	ubiquiti / EdgeSwitch 24-Port 500W
OS / Version	EdgeSwitch / 1.9.0-lite -b0.0.0
Serial Number(s)	802AA8DC58BC
Chassis ID	
Description	EdgeSwitch 24-Port 500W, 1.9.0-lite, Linux 3.6.5-03329b4a, 0.0.0.0000000
Tags	
Administration	SSH Telnet Web
SNMP Class	SNMP: Info: Layer2: Ubiquiti
Uptime	2 years 6 months 4 days 22:34:31
Layers	2 3
Last Discover	2023-09-28 11:35
Last Arprip	2023-09-28 16:50
Last Macsuck	2023-09-28 17:20
NAC / 802.1X	
Hardware Status	Fan: PS1 PS2
MAC Address	80:2a:a8:dc:58:bc
VTP Domain	
Admin Tasks	Discover Arprip Macsuck NBTstat Screenshot

Рис. 2. Вікно інвентаризації комутатора Ubiquiti EdgeSwitch 24-Port

Таким чином, процес інвентаризації можна проводити як вручну так і налаштувавши цей процес автоматично. Також в ПЗ ведеться статистика опитування всього обладнання на увесь час, де можна побачити кількість пристроїв, вузлів, з'єднань та IP-адрес (рис. 3).

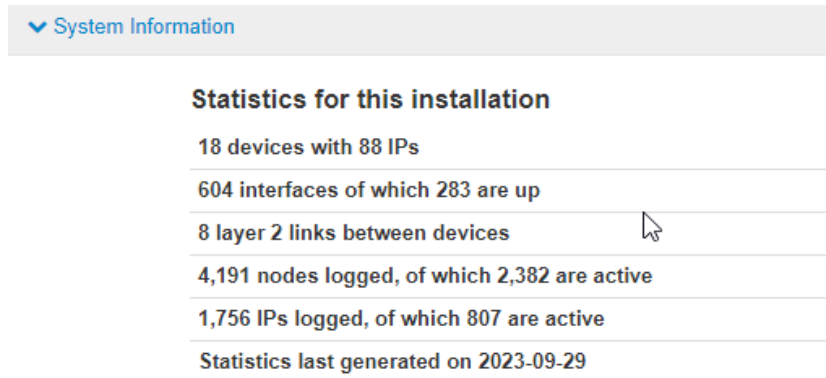


Рис. 3. Системна інформація ПЗ про статистику опитування мережі

Через аналіз трафіку можна зрозуміти, як дані передаються мережею, і виявити потенційні проблемні області, що вимагають уваги. Розуміння типів трафіку, які проходять через мережу, допомагає в управлінні пріоритетами та забезпечує, щоб критичні для бізнесу застосунки отримали необхідну пропускну здатність (рис. 4).

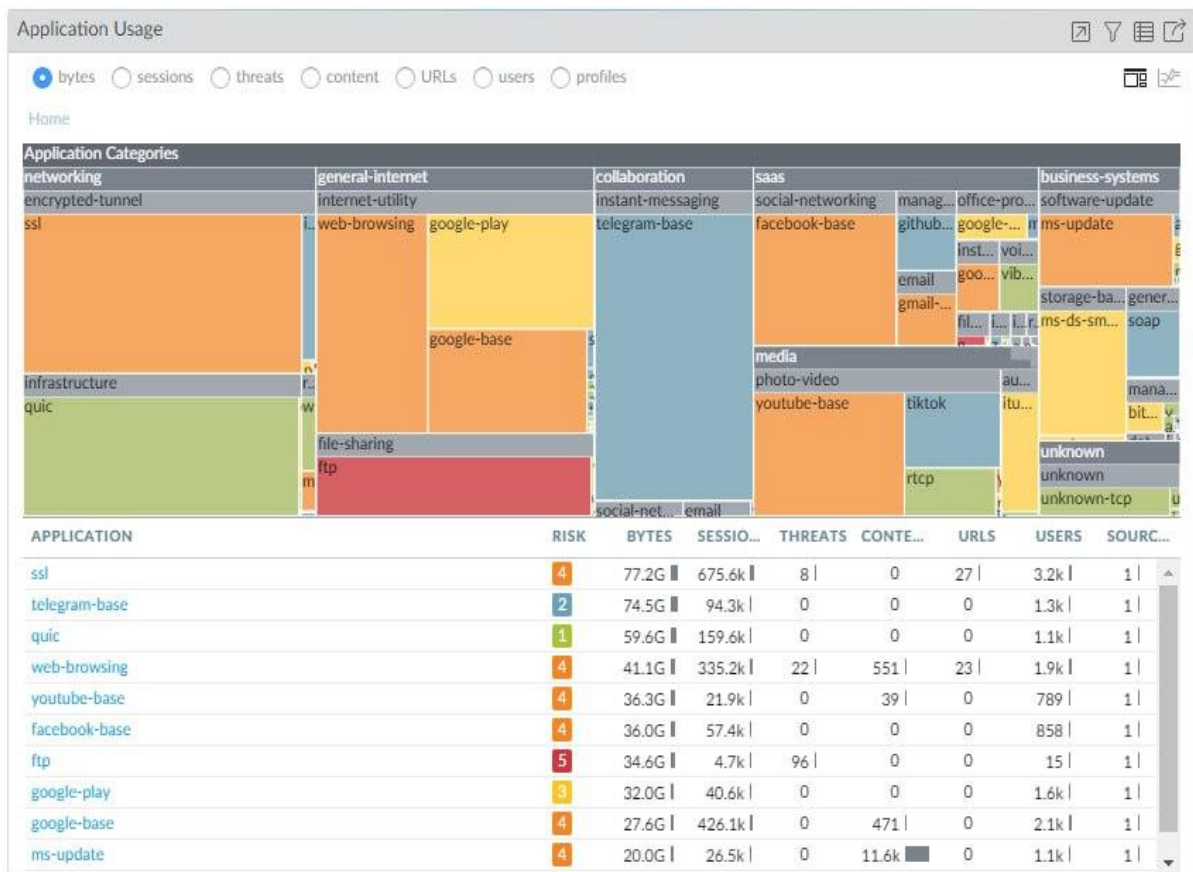


Рис. 4. Тип трафіку та обсяги використання у робочий час

Як вже зазначалось, ПЗ може будувати інтерактивну карту мережі з пристроїв, які раніше було додано до бази даних. На карті можна переглядати локацію вказаних пристроїв, переміщати їх так як зручно, переглядати коротку інформацію, видаляти та будувати інші зв'язки, а також переходити на сам пристрій, щоб можна було переглянути всю інформацію про нього та керувати ним, якщо раніше було надано такі дозволи та чи є потреба в цьому (рис. 5).



Рис. 5. Побудова інтерактивної карти відокремленої частини мережі

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Розподілені гетерогенні мережі є досить динамічні та залишаються недостатньо дослідженими. Розроблене програмне забезпечення для аналізу стану, функціонування та моніторингу такого типу мереж є перспективним напрямком дослідження та прекрасним інструментом для мережових та системних адміністраторів. За допомогою цього ПЗ можливо вирішувати базові та більш комплексні задачі, а також легко інтегрувати його в мережу підприємства, незалежно від її масштабності. В подальшому планується інтеграція з іншими сервісами та доповнення функціоналу ПЗ.

Список бібліографічного опису

1. Holubnychy D., Kotsyuba V. Applying technologies of monitoring and condition analysis of IP-networks based on the use of the SNMP protocol. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2022. No. 96. P. 14. URL: <http://surl.li/njvsl>
2. Kovalenko O. Y., Kuzniuk K. V. Computer network monitoring systems. Mathematical machines and systems. 2023. Vol. 1. P. 50–59. URL: <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2023-1-50-59> (date of access: 30.09.2023).
3. Калініченко Д. Система виявлення вторгнення в комп'ютерну мережу на основі аналізу трафік : автореф. Кваліфікаційна робота "Бакалавр". Київ, 2023. 76 с.
4. Heterogeneous networks: basics & examples. study.com. URL: <http://surl.li/npfkn>

References

1. Holubnychy D., Kotsyuba V. Applying technologies of monitoring and condition analysis of IP-networks based on the use of the SNMP protocol. Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. 2022. No. 96. P. 14. URL: <http://surl.li/njvsl>
2. Kovalenko O. Y., Kuzniuk K. V. Computer network monitoring systems. Mathematical machines and systems. 2023. Vol. 1. P. 50–59. URL: <https://doi.org/10.34121/1028-9763-2023-1-50-59>
3. Kalinichenko D. System for detecting intrusion into a computer network based on traffic analysis: an abstract. Qualification work "Bachelor". Kyiv., 2023. P 76.
4. Heterogeneous networks: basics & examples. study.com. URL: <http://surl.li/npfkn>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-15>

УДК 628.971.6

Гринюк Сергій Васильович, к.т.н., ст. викладач

<http://orcid.org/0000-0002-0080-3167>

Поліщук Микола Миколайович, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0002-1218-5925>

Гринюк Микола Васильович, магістрант

Шульгат Віктор Вікторович, магістрант

Терешкович Володимир Ігорович, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ОСВІТЛЕННЯМ НА БАЗІ ARDUINO UNO

Гринюк С.В., Поліщук М.М., Гринюк М.В., Шульгат В.В., Терешкович В.І. Інтелектуальна система керування освітленням на базі Arduino Uno. В статті розглядається створення інтелектуальної системи освітлення з голосовим керуванням на базі платформи Arduino. Система об'єднує в собі технології мікроконтролера Arduino та розпізнавання голосових команд, щоб забезпечити зручний та ефективний спосіб управління освітленням у приміщенні. На апаратному рівні використовується Arduino-сумісний мікроконтролер, який підключений до світлодіодних джерел світла. Також в проєкті використовуються модулі для голосового введення та обробки команд. У програмній частині розроблено алгоритми розпізнавання голосових команд та взаємодії з освітлювальною системою. Застосовані техніки обробки сигналу для ефективного визначення команд, що дозволяє користувачеві легко та швидко управляти освітленням за допомогою голосу.

Ключові слова: Arduino, мікроконтролер, алгоритм, сигнал, освітлювальна система.

Hryniuk S., Polishchuk M., Hryniuk M., Shulgat V., Tereshkovych V. Intelligent lighting control system based on Arduino Uno. The article considers the creation of an intelligent lighting system with voice control based on the Arduino platform. The system combines Arduino microcontroller technology and voice recognition to provide a convenient and efficient way to control indoor lighting. At the hardware level, an Arduino-compatible microcontroller is used, which is connected to LED light sources. The project also uses modules for voice input and command processing. Algorithms for recognizing voice commands and interaction with the lighting system have been developed in the software part. Signal processing techniques are used to effectively determine commands, which allows the user to easily and quickly control the lighting with the help of voice.

Key words: Arduino, microcontroller, algorithm, signal, lighting system.

Постановка проблеми. Останніми роками для кращого використання енергії все частіше застосовуються зелені та екологічні технології, такі як система керування освітленням за допомогою фотоелементів. У зв'язку зі стрімким зростанням попиту на енергію, наприклад, на електричне освітлення припадає майже 20-30% загального споживання електроенергії в комерційних будівлях, існує великий простір для скорочення споживання енергії для освітлення. Тому зараз люди більше замислюються над тим, як енергію можна використати більш ефективно та раціонально. Одним з рішень є використання сонячної енергії, яка є вільно доступною від сонця, і може замінити використання енергії на основі вуглеводнів. Денна освітленість, яку фіксують фотоелементні датчики, може бути використана для регулювання рівня електричного освітлення за допомогою електронних баластів з можливістю регулювання яскравості. Залежно від складності системи та параметрів, що контролюються, використання інтелектуальної системи управління освітленням може забезпечити значну економію енергії, приблизно від 40% до 65%.

Стрімкий технологічний прогрес зробив наше повсякденне життя ще більш комфортним. Ідея розумного будинку або домашньої автоматизації стала для нас більш звичною, ніж будь-коли. На початку 1970-х років зародилася концепція розумного будинку, яка на той час була фантастикою як для архітекторів, так і для системних дизайнерів. Швидкий розвиток вбудованих систем безпосередньо зіткнувся з індустрією автоматизації. Очікується широке розповсюдження систем домашньої автоматизації, подібних до смартфонів. Розумна система освітлення відіграє значну роль в індустрії домашньої автоматизації.

Домашня автоматизація – це не концепція майбутнього, вона вже стала реальністю. Більшість електронних пристроїв зараз реалізовані у вигляді програмних додатків, що працюють на розумних пристроях. На сьогоднішній день світ в цілому прийняв концепцію управління будинком за допомогою розумних пристроїв.

За оцінками ВООЗ, 15% населення світу живуть з інвалідністю. Більшість з них мають фізичні вади, що призводить до порушення фізичного функціонування, мобільності та витривалості людини, що обмежує її повсякденну життєдіяльність [1]. Дана робота присвячена системі

освітлення, а не автоматизації всього будинку. Якщо розглядати рівень комфорту проекту, то користувач повинен підключити пристрій через Bluetooth, а користувач може з'єднатися з пристроєм за допомогою мобільного додатку. Крім того, це буде дешевше, ніж інші продукти на ринку в цій категорії.

Викладення основного матеріалу. У більшості бездротових систем розробник має подвійне обмеження: система повинна працювати на певній відстані і передавати певний обсяг інформації протягом певного часу. Тоді загальна вартість системи повинна відповідати правилам і нормам державних органів.

Zigbee – одна з найпоширеніших бездротових мереж, відкрита, модульна структура [2]. Враховуючи існуючі технології Zigbee (рис.1) розроблений в основному для використання мережевих архітектур, таких як топологія мережі «точка–точка», топологія мережі «зірка» і топологія комірчастої мережі в будівельному блоці з найменшою вартістю на вузол.



Рис. 1. Технології Zigbee

Для проектування і побудови системи домашньої автоматизації Zigbee часто використовується для маршрутизації Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) для проектування і побудови системи домашньої автоматизації.

Wi-Fi – ідеальний вибір для такого середовища, як будинок з трьома спальнями. Він використовує радіохвилі, щоб забезпечити будинок споживача високошвидкісним широкосмуговим зв'язком. Однак для покриття великої території використовується кілька точок доступу, що перекривають одна одну. Для порівняння, ці численні точки входу, що перекриваються, дозволяють користувачам отримати контроль над пристроєм, який охоплює велику територію. Все спрямовані радіохвилі можуть проходити крізь стіни і неметалеві бар'єри.

Технологія Bluetooth є найкращою та найпоширенішою бездротовою технологією. Блок радіопередачі короткого радіусу дії був розроблений для зв'язку Bluetooth. Він безліч застосувань для налаштування зв'язку між пристроями. Новим основним пристроєм в системі домашньої автоматизації є смартфон на базі Android.

Amazon Echo – це провідна платформа для домашньої автоматизації, що використовує запатентовану технологію голосового управління Alexa від Amazon (рис. 2).



Рис. 2. Платформа Amazon Echo

Echo працює як автономний пристрій, підключаючись до хмарного сервісу, що забезпечує відтворення аудіо, здійснення дзвінків, налаштування нагадувань і часу, постановку запитань або навіть запит на оновлення погоди і дорожнього руху. Echo має кілька все спрямованих мікрофонів, які дозволяють легко приймати голосові команди з різних куточків будівлі, а також кілька динаміків, щоб його було добре чути [3].

Ще одним популярним методом реалізації системи домашньої автоматизації є платформа Google Home (рис. 3).

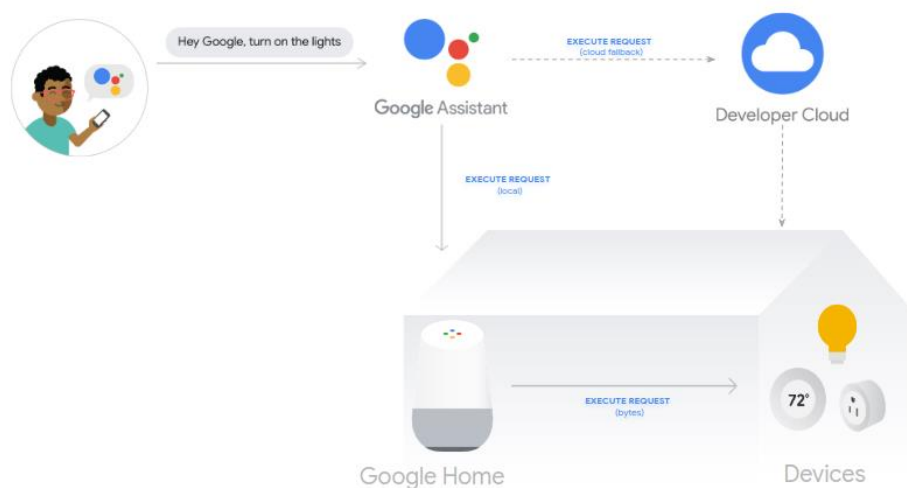


Рис. 3. Платформа Google Home

Вона використовує Google Assistant для виконання функцій за допомогою голосових команд, але діє переважно як візуальний графічний інтерфейс, функціонуючи, по суті, як мобільний комп'ютер, керований голосом. Він показуватиме місцеву погоду, заходи та оголошення, регулярні розклади руху, а також дозволить переглядати музику та відео з YouTube, серед інших можливостей. Коли пристрій не використовується, на його екрані відображатиметься годинник, або ж він функціонуватиме як цифрова фоторамка, показуючи фотографії з облікового запису Google Picture [4].

Існує ще один проект у галузі домашньої автоматизації, відомий як IVEE. Ця система здатна спілкуватися з оператором, приймати замовлення і керувати деякими побутовими приладами. Наприклад, якщо споживач запитує у IVEE прогноз погоди, і якщо система пов'язана з Wi-Fi, то вона може розповісти і показати загальний прогноз.

Розумна система освітлення, призначена, зокрема, для допомоги людям з обмеженими фізичними можливостями. Цей пристрій дозволяє таким споживачам керувати системою освітлення будинку. Користувачі отримують набір голосових команд для управління системою освітлення, а потім Андроїд-додаток ідентифікує команду за допомогою системи розпізнавання мови Google. Після розпізнавання команди додаток передасть її мікроконтролеру через Bluetooth-модуль. У цьому випадку модуль Bluetooth буде діяти як комунікаційний хаб. Потім мікроконтролер передасть команду на реле.

Для проектування системи було обрано Arduino Uno R3 [5] в якості блоку управління системою. У порівнянні з іншими мікроконтролерами, Arduino Uno R3 є більш гнучким, дешевим і менш складним.

Система розумного освітлення з голосовим керуванням складається з декількох окремих компонентів, об'єднаних разом для виконання своєї функції. Як показано на рисунку нижче, системні блоки є наступними:

- Блок живлення змінного струму.
- Перетворювач змінного струму в постійний.
- Блок реле.
- Модуль Bluetooth.
- Додаток для Android
- Послуги Інтернету

Голос – це єдиний спосіб подати команду системі, і за допомогою системи розпізнавання мови Google пристрій розпізнає команду. Потім, використовуючи Bluetooth-з'єднання, Android-додаток передасть голосову команду на блок управління. Нарешті, на основі команди, отриманої від додатку Android, мікроконтролер увімкне або вимкне підключені до системи світильники. На рисунку 4 представлена архітектура системи освітлення.

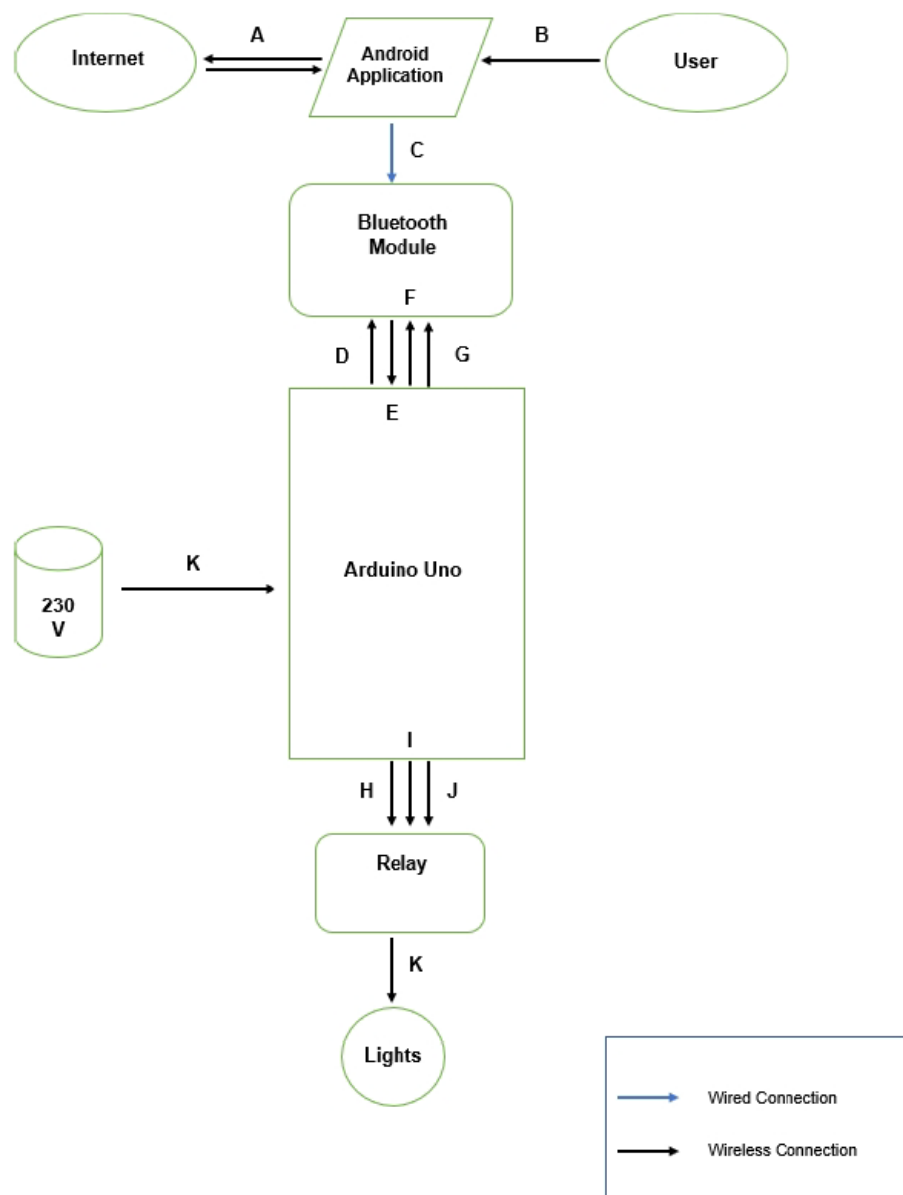


Рис. 4. Системна архітектура інтелектуальної системи освітлення

Процес роботи системи складається з чотирьох основних етапів:

Етап 1 – Користувач повинен відкрити мобільний додаток «Розумна система освітлення».

Етап 2 – Bluetooth повинен увімкнутися. Це дозволить програмі з'єднатися з модулем Bluetooth.

Етап 3 – На цьому етапі користувач повинен увімкнути опцію розпізнавання голосу. Після цього, коли користувач буде давати команди, додаток буде ідентифікувати його за допомогою системи розпізнавання мови Google. Для того, щоб отримати доступ до системи розпізнавання мови Google, мобільний телефон повинен мати доступ до Інтернету. Якщо команда була ідентифікована додатком, вона переходить на наступний етап, або якщо команда не була ідентифікована додатком, користувачеві доведеться дати команду ще раз. Крім того, програма завжди відображає попередню команду. Таким чином, це допоможе користувачеві визначити, чи була помилка в команді, чи ні.

Етап 4 – На цьому етапі мікроконтролер виконує команди користувача. Нижче, на рисунку 5, наведено блок-схему, яка візуально відображає процес роботи системи.

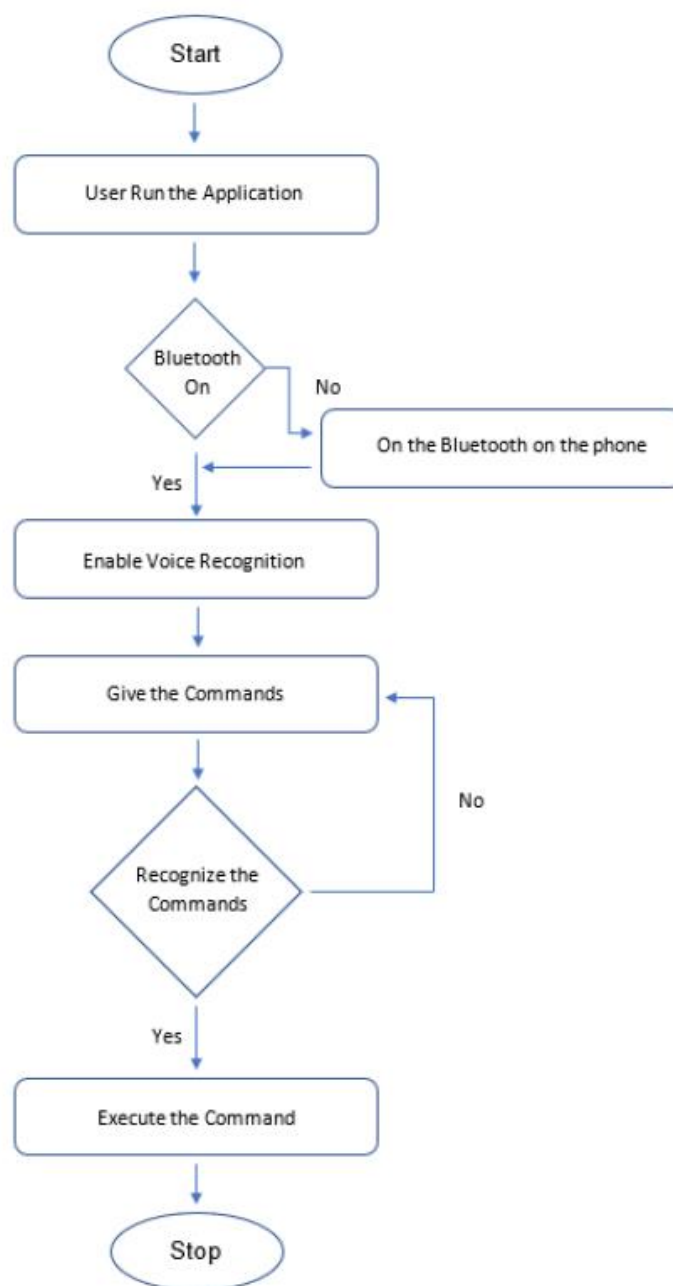


Рис. 5. Блок-схема процесу роботи системи

Висновки. Системи домашньої автоматизації стрімко розвинулися як важлива галузь. Впровадження такої системи в сучасному будинку постійно стає все більш і більш необхідним, а також спостерігається тенденція до стандартизації цього процесу. Отже, цей проект був розпочатий, щоб задовольнити ці вимоги за низьку вартість. Крім того, основною метою цього проекту було полегшити повсякденне життя людей з обмеженими можливостями. Зауважимо, що ця система використовує голос як основний вхідний сигнал. Отже, це буде великою допомогою для людей з обмеженими можливостями. Крім того, це підвищує ефективність та результативність системи. Крім того, було створено віддалений доступ, щоб полегшити повсякденне життя споживачів.

Список бібліографічного опису

1. Басаніньєнзі, У. (2020) . Огляд інтеграції людей з інвалідністю / Електронний ресурс. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/disability> (дата звернення: 30.08.2023).
2. Що таке Zigbee шлюз і навіщо він потрібний? / Електронний ресурс. – URL: <https://wisehome.com.ua/ua/scho-take-zigbee-shlyuz-i-navischo-vin-potribnyi/> (дата звернення: 30.09.2023).
3. Що таке Amazon Alexa? / Електронний ресурс. – URL: <https://ipkey.com.ua/faq/937-amazon-alexa.html> / (дата звернення: 30.09.2023).
4. Як керувати розумними пристроями на телефоні Android / Електронний ресурс. – URL: <https://support.google.com/android/answer/10035441?hl=uk/> (дата звернення: 30.10.2023).
5. Polishchuk, M., Hryniuk S., Savaryn P., Kostiuchko, S., Tkachuk A. «Tesla Switch of 4 Batteries Based on the Arduino Uno Board», *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 13(3), 111-116. <https://doi.org/10.35784/iapgos.4051>.

References

1. Basanienzi, U. (2020). Overview of the integration of people with disabilities / Electronic resource. – URL: <https://www.worldbank.org/en/topic/disability> (access date: 30.08.2023).
2. What is a Zigbee gateway and why is it needed? / Electronic resource. – URL: <https://wisehome.com.ua/ua/scho-take-zigbee-shlyuz-i-navischo-vin-potribnyi/> (date of application: 09/30/2023).
3. What is Amazon Alexa? / Electronic resource. – URL: <https://ipkey.com.ua/faq/937-amazon-alexa.html> / (access date: 09/30/2023).
4. How to manage smart devices on an Android phone / Electronic resource. – URL: <https://support.google.com/android/answer/10035441?hl=uk/> (access date: 10/30/2023).
5. Polishchuk, M., Hryniuk S., Savaryn P., Kostiuchko, S., Tkachuk A. "Tesla Switch of 4 Batteries Based on the Arduino Uno Board", *Informatyka, Automatyka, Pomiary W Gospodarce I Ochronie Środowiska*, 13(3), 111-116. <https://doi.org/10.35784/iapgos.4051>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-16>

УДК 621.316.06

Громко Олександр Олександрович, бакалавр,

<https://orcid.org/0009-0000-4563-8604>

Боярінова Юлія Євгеніївна, с.н.с.-к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-8974-529X>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

МЕТОДИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТОПОЛОГІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

Громко О.О., Боярінова Ю.Є. **Методи застосування штучного інтелекту для багаторівневої оптимізації топології електричних схем.** У даній статті проаналізовані методи та системи багаторівневої локальної оптимізації топології електричних схем, а також розглянуто метод оптимізації топології за допомогою генетичного алгоритму, що базується на основних засадах методології оптимізації та методології використання генетичного алгоритму для задач автоматизації.

Ключові слова: генетичні алгоритми, багаторівнева оптимізація, локальна оптимізація, топології електросхем, автоматизація оптимізації

Hromko O., Boyarinova Y. **Methods of applying artificial intelligence for multi-level optimisation of electrical circuit topologies.** This article analyses the methods and systems of multilevel local optimisation of electrical circuit topologies, and considers the method of topology optimisation using a genetic algorithm based on the basic principles of optimisation methodology and the methodology of using a genetic algorithm for automation tasks.

Keywords: genetic algorithms, multilevel optimisation, local optimisation, topological electrical circuits, optimisation automation

Постановка проблеми.

З роками потреба в ефективних інструментах оптимізації схем не змінилася, але причини для оптимізації цифрових схем змінилися. Оптимізація цифрових схем була активною сферою досліджень з початку 1950-х років. У ті часи цифрові системи, такі як революційний ENIAC (Електронний числовий інтегратор і калькулятор), важили кілька тон і містили тисячі резисторів, вакуумних ламп та інших дискретних компонентів (1). Через непомірну вартість логічних вентилів в ті часи, ранні зусилля з оптимізації були зосереджені в першу чергу на зменшенні кількості дискретних компонентів в заданій логічній схемі.

З появою транзисторів, а згодом і інтегральних схем, вартість логічних вентилів наприкінці 1960-х і на початку 1970-х років різко знизилася. Через це бракувало зацікавленості у витрачанні багато часу на складні методи оптимізації, коли ручне спрощення, здавалося, працювало адекватно для більшості конструкцій. Лише в середині та наприкінці 1970-х років оптимізація схем отримала друге дихання, і з тих пір продовжує розвиватися. Цьому відродженню сприяла низка факторів. Найвизначнішим з них є впровадження технології LSI (Large Scale Integration), а пізніше VLSI (Very Large Scale Integration). Це передбачало розміщення все більшої кількості логічних вентилів на все меншій площі поверхні. Оскільки різноманітність сфер застосувань цифрових схем зростала в геометричній прогресії, зростала і їхня складність. Якщо раніше схеми складалися з п'яти-десяти змінних і декількох сотень вентилів, то сьогодні не рідкість зустріти 30 і більше змінних, кілька виходів і тисячі, а в деяких випадках і мільйони вентилів. Як ви можете собі уявити, здатність людини-дизайнера синтезувати такі складні схеми накладає серйозні обмеження на досяжні цілі. Люди не тільки схильні до помилок, але їхні розробки часто є досить неефективними

На сьогоднішній день основними цілями оптимізації схем є (2):

1. Мінімізація загальної площі конструкції
2. Мінімізація часу затримки критичного шляху
3. Покращення тестованості та верифікованості синтезованої логіки.

Зменшення загальної площі схеми є важливим з кількох причин. Очевидно, що менші цифрові схеми можна розмістити на менших площах (годинники, радіоприймачі, ноутбуки тощо). Ніде це не має більшого значення, ніж в сучасних аерокосмічних апаратах, де простір на літальному апараті є критично важливим активом. Ще однією причиною зменшення площі поверхні є те, що "вартість виготовлення схеми фактично є експоненціальною функцією від площі, принаймні, якщо схема

велика (3)". Зменшення часу затримки критичного шляху, очевидно, прискорить роботу схеми. Найшвидшою схемою буде та, в якій сигнали проходять через найменшу кількість вентилів. Оскільки кожна система булевих функцій може бути виражена в еквівалентній SOP-формі, це представлення перетворюється на схему з глибиною у два вентиля. Хоча це, як правило, найшвидша схема

найшвидшу з можливих схем, її реалізація часто вимагає великої площі поверхні і може призвести до неприйнятної вентиляції деяких вентилів. Таким чином, зазвичай потрібно знайти компроміс між зменшенням площі поверхні та зменшенням затримки поширення. Останнім часом у ряді систем з'явилися засоби для оптимізації схеми на основі такого компромісу.

З ускладненням схем все більшого значення набуває ідея розробки цифрових систем, які можна легко протестувати, щоб переконатися, що вони функціонують правильно. На щастя, створення оптимізованих схем, які піддаються тестуванню і перевірці, часто є побічним продуктом автоматизованих методів оптимізації (2). Майбутні системи проектування генеруватимуть повний набір тестових векторів, що є результатом процесу синтезу та оптимізації схеми. Інша мета систем оптимізації - перепроєктувати задану схему, переводячи її з однієї технології на іншу, використовуючи при цьому всі переваги цільової технології. Багато систем мінімізації можуть звести схему до системи, що складається зі стандартних вентилів І та АБО. Однак вони можуть бути реалізовані з використанням вентилів NAND і NOR або більш сучасної технології. Коли оптимізована схема І-АБО трансформується в нову технологію, отримана схема, як правило, не є оптимальною і може піддаватися подальшому скороченню. Якщо цільова технологія відома з самого початку, можна спроектувати і оптимізувати цифрову схему з урахуванням цільової технології. Хорошим показником якості системи оптимізації є її здатність включати нові технології в міру їх розвитку і здійснювати перетворення між технологіями.

Щоб бути конкурентоспроможними в майбутньому, системи оптимізації схем повинні мати можливість швидко створювати перевірені схеми на основі поведінкових специфікацій. "Ця здатність буде ставати все більш важливою, оскільки ринок спеціалізованих інтегральних схем (ASIC) продовжує відповідати своїм прогнозам швидкого зростання (2)

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У той час як область дворівневої оптимізації стає все більш зрозумілою, багаторівнева оптимізація все ще перебуває в стані активного дослідження. Багаторівнева реалізація булевої функції (див. Рисунок 3.4) дозволяє необмежено використовувати проміжні сигнали. Можливість повторного використання проміжних сигналів може призвести до необмеженої кількості способів представлення багаторівневих схем. Хоча це значно розширює ступінь свободи, що надається проектувальнику, це також супроводжується значним збільшенням складності. Саме ця складність перешкоджає створенню ефективних автоматизованих систем багаторівневої оптимізації.

Принципи локальної багаторівневої оптимізації. У локальній оптимізації початкова схема синтезується з системи рівнянь, що задають схему. Система, що базується на правилах, виконує повторне сканування, застосовуючи локальні правила перетворення для модифікації схеми. Ці правила спрямовані на зменшення площі схеми або затримки поширення. 3-16 Важливо точно розуміти, коли застосовувати методи локальної оптимізації. Слово "оптимізація" в нашому контексті означає, що існує початкова схема, яку потрібно оптимізувати. Таким чином, система локальної оптимізації, як правило, виконує своє завдання у наступні три окремі кроки (4):

1. Мінімізація булевих рівнянь, що задають схему,
2. Синтез початкової схеми,
3. Оптимізація схеми для заданої технології.

Лише третій крок передбачає застосування локальних перетворень. На кроці 1 система булевих рівнянь, що описує схему, скорочується за допомогою математичних методів, використовуючи всі переваги будь-яких умов "don't-care". На кроці 2 застосовуються різноманітні методи для синтезу початкової схеми. Часто використовується обмежений набір типів затворів наприклад, вентиля NAND/NOR та мультиплексори. Деякі системи включають багаторівневі методи синтезу, такі як факторизація, щоб скористатися перевагами будь-яких загальних проміжних доданків. Нарешті, на кроці 3 застосовуються принципи локальної оптимізації. Ключем до успіху локальної оптимізації є використання ефективної системи, заснованої на правилах. Кожне правило передбачає заміну існуючої конфігурації одного або декількох елементів схеми на еквівалентну, але більш бажану конфігурацію, як показано на Рисунку 1 (4). Оскільки ця заміна стосується лише

кількох елементів схеми, вона вважається локальною оптимізацією на відміну від глобального підходу, який охоплює всю логіку схеми. Правила слідує тим, яких дотримується розробник при ручній оптимізації логічної схеми. Нові правила можуть бути включені до системи локальної оптимізації, просто додавши їх до бібліотеки.

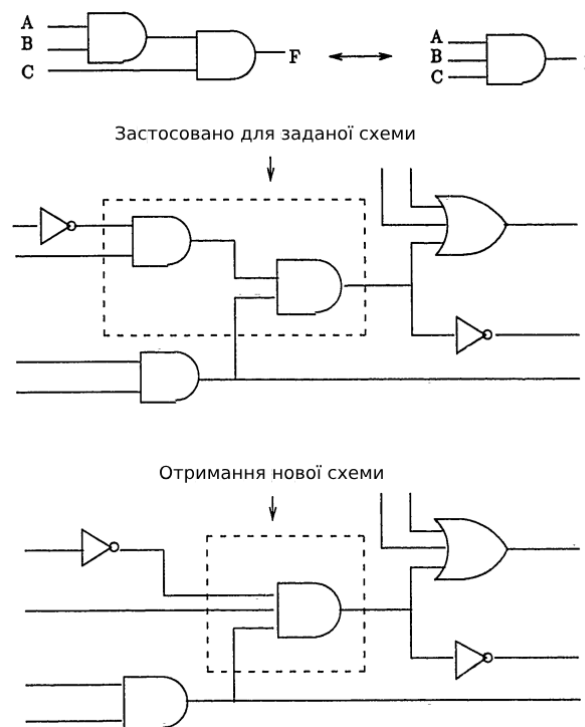


Рис.1 - Приклад правила локального перетворення

Під час процесу оптимізації правила застосовуються впорядковано. Порядок, в якому вони застосовуються, може кардинально вплинути на кінцевий результат. Порядок, в якому вони застосовуються, може мати значний вплив на кінцевий результат. Загальні правила, які зменшують як площу, так і швидкість, застосовуються в першу чергу. Вони мають пріоритет за їх відносною важливістю. Ці правила застосовуються багаторазово, доки не залишиться більше загальних правил.

На цьому етапі деякі більш просунуті системи, такі як SOCRATES, виконують часовий аналіз критичного шляху. Якщо час затримки критичного шляху не відповідає встановленим інструкцій або попередньо визначеним меж, то до вентилів на критичному шляху будуть застосовані деякі правила економії часу. Коли бажаний час буде досягнуто, будуть застосовані правила економії простору до вентилів, що не знаходяться на критичному шляху. Кінцевим результатом цих систем локальної оптимізації часто є значно покращений конструкція. Мало того, що проекти стають швидшими і меншими, так ще й час, необхідний для їх синтезу за допомогою системи локальної оптимізації їх за допомогою системи локальної оптимізації значно скорочується. Деякі системи довели свою комерційну життєздатність і здатними постійно перевершувати дизайнерів-людей.

Системи локальної оптимізації. Історія розвитку систем локальної оптимізації є відносно недавньою. Цьому сприяв нещодавній інтерес до застосування систем, заснованих на правилах, до практичних проблем, які було важко вирішити, використовуючи інші підходи. IBM була однією з перших компаній, яка проявила інтерес, розробивши систему логічного синтезу (LSS) на початку 1980-х. Пізніше з'явилися LORES, DAS/Logic, SOCRATES та інші. LSS (5) була розроблена для перетворення високорівневої специфікації схеми в реалізацію виробничої якості за допомогою серії локальних перетворень. Першочерговою метою була система, яка виробляє реалістичні, не обов'язково оптимальні, схеми, які задовольняють низці обмежень. Вони повинні відповідати вимогам цільової технології, використовувати всі переваги цієї технології та створювати логіку з прийнятною кількістю вентилів і довжиною шляху. Система працює поетапно. Вона починається з перекладу специфікації системи з мови регістрового перенесення на мережу, що складається з I, АБО, НЕ, дешифраторів, суматорів тощо. Далі, через серію локальних перетворень на декількох рівнях, мережа замінюється більш примітивними реалізаціями, такими як NAND і NOR, і врешті-

решт, технологічно специфічними пристроями. Весь процес розвивається від початкових етапів, які відносно не залежать від цільової технології, до кінцевих етапів, які є специфічними для конкретної технології. Використання декількох етапів синтезу та оптимізації логіки дозволяє системі скористатися численними методами спрощення, які можна застосувати на кожному рівні.

Система LSS продемонструвала значний успіх, особливо при її використанні на проектах IBM. "Зокрема, в одному проекті вона була використана на 90 відсотках з більш ніж 100 дизайнів мікросхем. Це дозволило скоротити початковий час розробки вдвічі (5)". Незважаючи на успіх, LSS також мала свої недоліки. Він був обмежений у своїй здатності вирішувати проблеми синхронізації та кількості вентилів. Вона не використовувала повною мірою всю інформацію, яка була доступна в умовах "мені байдуже". Вона також часто перевершувала системи, які підходили до проблеми з більш глобальної точки зору. Незважаючи на це, вона забезпечила основу, з якої випливали майбутні системи.

LORES LORES (Система логічної реорганізації) - це система, яка автоматично розділяє і реструктурує логічну схему, що складається зі стандартних SSI і MSI, таким чином, щоб типи вентилів і кількість вхідних/вихідних клем були сумісні з вимогами LSI (6). Переваги БІС численні: менший розмір, краща продуктивність, знижене енергоспоживання, а часто і зниження загальної вартості. Ці переваги не даються дарма, і ціна, яку нам часто доводиться платити, - це збільшення часу на розробку, більша складність і складніший процес тестування та верифікації. LORES зосереджує свої зусилля на досягненні деяких переваг LSI шляхом подолання деяких труднощів.

LORES - це система автоматичної логічної оптимізації, основні функції якої описані нижче (6):

1. Витягнути одну з розділених секцій з початкового проекту.
2. Усунути будь-яку невикористану або надлишкову логіку.
3. Перетворити або реструктурувати логіку на ті логічні елементи, які дозволені в LSL.
4. Розділіть логічну схему так, щоб кількість вентилів і вхідних/вихідних клем були в межах заданих лімітів.

Одним з основних недоліків LORES є його нездатність працювати з асинхронними схемами. Таким чином, для схем, що містять асинхронний компонент, може знадобитися певний обсяг моделювання та ручної модифікації (6). З іншого боку, "LORES безпосередньо сприяв скороченню часу розробки і трудових ресурсів за рахунок автоматизації процесу перетворення схем і зменшення необхідності перевірки проекту (7)".

Нещодавно з'явилася нова версія LORES під назвою LORES/EX (8). Вона призначена для трансформувати існуючу логічну схему з однієї технології на іншу. Вона не тільки гнучко реагує на зміни в технології, але й має ряд інших особливостей. Вона вводить правила стандартизації, які спрямовані на зменшення та спрощення розміру бази правил. Вона має функції, які використовують вирішення конфліктів для покращення загальної якості схем. Він також має можливість розділяти великі схеми на менші, що дозволяє LORES обробляти схеми з кількістю вентилів до 10 000 за практичну кількість часу.

DAS/Logic. DAS/Logic (Design Assistant Series) - це інструмент, що розробляється в Carnegie Group Inc. для допомоги в проектуванні IC. Він описаний Бірмінгемом (8) як заснована на правилах система, написана на мові OPS5, яка перетворює поведінковий опис системи в принципову електричну схему. На вхід подається високорівневий опис бажаної поведінки схеми, а на виході - набір стандартних комірок і список з'єднань.

На кожному рівні проектування виконуються різні кроки. Ці кроки включають (8):

1. Створення структури для поточного рівня проектування.
2. Пошук можливостей оптимізації або порушень обмежень.
3. Виправлення порушень або застосування оптимізуючих перетворень.
4. Генерування обмежень/можливостей для структури наступного рівня.

DAS/логічне проектування слідує підходу "зверху вниз" у поєднанні з деякими стратегіями "знизу вгору". стратегіями. Низхідний підхід дозволяє системі працювати з більш глобальної точки зору; однак, знаючи особливості технології реалізації, бажано також використовувати висхідні стратегії проектування. Наприклад, не варто створювати систему з чотирма входами АБО-транзисторів, якщо вони не існують у цільовій технології. Розробники DAS/Logic зрозуміли, що ідеальна система логічної оптимізації повинна включати комбінацію стратегій "зверху вниз" і "знизу вгору".

На момент останнього звіту (8) система все ще перебувала на стадії розробки, але демонструвала значний прогрес. Вся робота над системою була спрямована на використання "розумних" методів ШІ для вирішення складних завдань. "Завдяки використанню знань про предметну область, отриманих від дизайнерів, DAS/Logic здатна розумно застосовувати свої оптимізаційні та конструктивні знання, тим самим різко скорочуючи обсяг пошуку, необхідний для досягнення високої якості дизайну (8)".

SOCRATES. SOCRATES (Synthesis and Optimization of Combinatorics using a Rule-based And Technology-independent Expert System) наразі є однією з найбільш успішних систем логічної оптимізації. Вона була розроблена з метою об'єднання найпривабливіші риси сучасних систем оптимізації. Отримана система поєднує використання методів дворівневої та багаторівневої оптимізації з локальними алгоритмами оптимізації на основі правил. Отриману систему можна узагальнено представити як таку, що виконує наступні кроки (9):

1. Рівняння або мережеві списки, що використовуються для визначення бажаної поведінки системи

трансформуються у формат, сумісний з мінімізатором ЗЛП EXPRESSO.

2. EXPRESSO зводить кожну функцію до її мінімальної СОП-форми.

3. Слабкий поділ² використовується для перетворення дворівневої реалізації в скорочену, але еквівалентну багаторівневу схему.

4. Експертна система на основі правил використовується для застосування локальних перетворень до схеми, щоб оптимізувати її для конкретної технології.

SOCRATES також має можливість вводити існуючі схеми у визначеному форматі для подальшої оптимізації або перетворення їх на нову технологію. Це, мабуть, одна з найбільш перевірених систем у своїй здатності працювати з обмеженнями за площею та часом. Користувач може вказати оптимальний компроміс між збільшенням швидкості та зменшенням розміру. Після цього схема може бути оптимізована для досягнення бажаних цілей. База правил побудована таким чином, що користувач може легко вводити додаткові правила, які автоматично перевіряються і класифікуються в базі знань (4).

SOCRATES вживає кілька заходів для забезпечення ефективної роботи. Вона використовує метарубрики для того, щоб простір пошуку був якомога меншим. Це, в поєднанні з тим фактом, що вона написана мовою C, а не типовою мовою експертних систем, забезпечує порівняно короткий час виконання. Завдяки цим вдосконаленням "комбінаційні схеми, на синтез і оптимізацію яких пішло б кілька днів, тепер можна згенерувати за лічені хвилини" (4). У підсумку, для великих схем (від 75 до 100 вентилів) SOCRATES у більшості випадків досягає зменшення площі від 25 до 60 відсотків; ці результати надзвичайно добре порівнюються з тими, що досягаються експертами вручну.

Запропонований метод оптимізації.

Генетичний алгоритм(ГА) - це метод стохастичної комбінаторної оптимізації. Первинні рамки генетичних алгоритмів були вперше представлені доктором Д. Голландом у 1975 році. На початку генетичний алгоритм необхідно розробити уявлення про можливі рішення, які часто називають хромосомами або особинами. Хромосома складається з набору генів, які можуть бути представлені двійковими кодами. Різні комбінації генів утворюють різні хромосоми. Кожна хромосома є можливим розв'язком задачі. Набір хромосом називається популяцією покоління. Хромосоми в поколінні змушені еволюціонувати до кращих у наступному поколінні за допомогою трьох основних операторів генетичного алгоритму: розмноження, кросинговеру та мутації, а також визначеної задачею функції пристосованості. При розмноженні частина відібраних точних копій хромосом поточної популяції стає частиною нащадків. При кросинговері випадково вибрані ділянки двох індивідуальних хромосом міняються місцями для отримання нащадків (11). При мутації випадково вибрані гени в хромосомах змінюються з імовірністю, що дорівнює заданій частоті мутацій (10). Для гена, що кодує двійковий код, це означає, що цифра 1 стає цифрою 0 і навпаки. Функція пристосованості, яку також називають цільовою функцією, є оціночною функцією, яка відіграє роль середовища для розрізнення хороших і поганих хромосом [11]. Лише певна кількість хромосом, перевірених і відібраних фітнес-функцією, може вижити і передати свої гени наступному поколінню. Еволюція зупиниться, коли певний критерій буде виконано.

Алгоритм починається зі створення випадкової початкової популяції. Після цього алгоритм створює послідовність нових популяцій. Таким чином, першим кроком для створення нової

популяції для наступного покоління є оцінка кожного члена поточної популяції шляхом обчислення його фітнес-значення. Після обчислення фітнес-значення алгоритм зупиняється, коли він знайде розв'язок або один з критеріїв зупинки буде виконано, і алгоритм поверне найкращий розв'язок у поточній популяції. На противагу цьому, поточна популяція буде змінена поточними нащадками, щоб сформувати наступне покоління, якщо розв'язок не буде задовільним. Таким чином, нова популяція створюється за допомогою генетичних операцій, таких як селекція, мутація і кросингвер. Для оператора селекції з популяції вибираються два батьки з кращими параметрами відповідно до їх пристосованості. Діти виробляються від батьків або шляхом внесення випадкових змін до одного з батьків, що називається мутацією, в той час як процес об'єднання елементів вектора пари батьків називається операцією кросингверу. Після цього створюється нове "потомство" або особина відповідно до результату генетичного оператора. Нарешті, нова згенерована популяція використовується, де особина передається назад до фітнес-функції для подальшого прогону алгоритмів.

Висновки

Запропонований метод проектування електричних схем з використанням генетичного алгоритму у дозволяє автоматично визначати необхідні параметри елементів схеми для забезпечення бажаних характеристик схеми для різних типів навантаження та різних топологій схем. Таким чином, цей інструмент оптимізації для проектування електричних схем може бути застосований для вирішення традиційного методу пошуку параметрів електричного кола. Для подальшого розвитку, продуктивність схеми може бути покращена шляхом введення додаткових обмежень у функції пристосованості. Крім того, за допомогою генетичних алгоритмів можна розробляти інші аналогові схеми, такі як операційні підсилювачі на BJT і CMOS, операційний транзистор на CMOS і узгоджувальну мережу.

Хоча локальні системи оптимізації є досить успішними і застосовуються для вирішення дедалі складніших завдань, самі по собі вони не є вирішенням усіх проблем оптимізації. Вони виявилися надзвичайно ефективними, коли мова йде про перетворення заданої схеми в нову технологію, але все ще дуже слабкі, коли мова йде про повне використання всієї інформації, що міститься в специфікації, в тому числі умов "неважливо". SOCRATES зробила кроки для використання такої інформації, включивши в свою систему прості алгоритми глобальної оптимізації. Багато локальних систем оптимізації обмежені ефективністю своїх систем, заснованих на правилах. Хоча швидкість цих систем покращується, ефективність все ще залишається головною перешкодою. Майбутнє систем локального редизайну дуже світле, і в майбутньому ймовірно, з'явиться більше гібридних систем на основі штучного інтелекту.

Список бібліографічного опису

1. Hayes, John P. *Computer Architecture and Organization*. [Електронний ресурс] / Hayes, John P. -1988. – Режим доступу до ресурсу: <https://archive.org/details/computerarchitec0003edhaye/page/n5/mode/2up>
2. Brayton, R.K., G.D. Hachtel and A.L. Sangiovanni-Vincentelli. *Multilevel Logic Synthesis*, [Електронний ресурс] / Brayton, R.K., G.D. Hachtel, A.L. Sangiovanni-Vincentelli - 1990 – Режим доступу до ресурсу: https://people.eecs.berkeley.edu/~alanmi/publications/other/multi_level.pdf
3. Ullman, Jeffrey D. *Computational Aspects of VLSI*. [Електронний ресурс] / Ullman, Jeffrey D. 1984. – Режим доступу до ресурсу: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1095588>
4. de Geus, Aart J. and William W. Cohen. *A Rule-Based System for Optimizing Combinational Logic*, [Електронний ресурс] / de Geus, Aart J. and William W. Cohen – 1985. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4069623>
5. Darringer, John A. *LSS: A System for Production Logic Synthesis* [Електронний ресурс] / Darringer, John A – 1984. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5390295>
6. Nakamura, Shunichiro, Shinichi Mural and Chiyoji Tanaka. "LORES: Logic Reorganization System [Електронний ресурс] / Nakamura, Shunichiro, Shinichi Mural and Chiyoji Tanaka. – 1978. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1585181>
7. Enomoto, Kiyoshi. *LORES-2: A Logic Reorganization System*, [Електронний ресурс] / Enomoto, Kiyoshi – 1985. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4069658>
8. Ishikawa, J. *A Rule Based Logic Reorganization System LORES/EX*, [Електронний ресурс] / Ishikawa, J – 1988. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/25703>
9. Gregory, David. *SOCRATES: A System For Automatically Synthesizing and Optimizing Combinational Logic*, [Електронний ресурс] / Gregory, David - 1986. – Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1586072>

10. D.E Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, [Електронний ресурс] / D.E Goldberg – 1989. – Режим доступу до ресурсу: https://www.academia.edu/7459663/Genetic_algorithms_in_search_optimization_and_machine_learning
11. C. S. Moo, H. L. Cheng, and S. J. Guo, *Designing passive LC filters with contour maps*, [Електронний ресурс] / C. S. Moo, H. L. Cheng, and S. J. Guo - 1997.– Режим доступу до ресурсу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/627503>

References

1. Hayes, John P. *Computer Architecture and Organization*, 1988. – Available at: <https://archive.org/details/computerarchitec0003edhaye/page/n5/mode/2up> [Accessed 4 Dec. 2023].
2. Brayton, R.K., G.D. Hachtel and A.L. Sangiovanni-Vincentelli. *Multilevel Logic Synthesis*, 1990 – Available at: https://people.eecs.berkeley.edu/~alanmi/publications/other/multi_level.pdf [Accessed 4 Dec. 2023].
3. Ullman, Jeffrey D. *Computational Aspects of VLSI*, 1984. – Available at: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1095588> [Accessed 4 Dec. 2023].
4. de Geus, Aart J. and William W. Cohen. *A Rule-Based System for Optimizing Combinational Logic*, 1985 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4069623> [Accessed 4 Dec. 2023].
5. Darringer, John A. and others. *LSS: A System for Production Logic Synthesis*, 1984 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5390295> [Accessed 4 Dec. 2023].
6. Nakamura, Shunichiro, Shinichi Mural and Chiyoji Tanaka. "LORES: Logic Reorganization System, 1978 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1585181> [Accessed 4 Dec. 2023].
7. Enomoto, Kiyoshi and others. *LORES-2: A Logic Reorganization System*, 1985 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4069658> [Accessed 4 Dec. 2023].
8. Ishikawa, J. and others. *A Rule Based Logic Reorganization System LORES/EX*, 1988 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/25703> [Accessed 4 Dec. 2023].
9. Gregory, David and others. *SOCRATES: A System For Automatically Synthesizing and Optimizing Combinational Logic*, 1986 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1586072> [Accessed 4 Dec. 2023].
10. D.E Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, 1989 – Available at: https://www.academia.edu/7459663/Genetic_algorithms_in_search_optimization_and_machine_learning [Accessed 4 Dec. 2023].
11. C. S. Moo, H. L. Cheng, and S. J. Guo, *Designing passive LC filters with contour maps*, 1997 – Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/document/627503> [Accessed 4 Dec. 2023].

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-17>

УДК: 004.72

Домарацький Ілля Віталійович¹, магістр

Багнюк Наталія Володимирівна¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

Бортник Катерина Яківна¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

Тишук Інна Володимирівна², к.е.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-1042-9495>

¹Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

²Волинський національний університет ім. Лесі Українки, м. Луцьк, Україна

ЗАСОБИ РОЗРОБКИ КРОСПЛАТФОРМЕННОГО МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

Домарацький І.В., Багнюк Н.В., Бортник К.Я., Тишук І.В. Засоби розробки кросплатформенного мобільного додатку. У статті докладно розглядаються основні кроки та процеси створення кросплатформенного мобільного додатку. Стаття розкриває ключові виклики та стратегії, необхідні для розробки ефективних мобільних додатків, які відповідають високим стандартам якості та функціональності на різних операційних системах. Основні аспекти, які розглядаються в статті, включають важливість сумісності з різними платформами, оптимізацію продуктивності, забезпечення консистентності інтерфейсу та виклики, пов'язані з оновленням та підтримкою додатків. Стаття підкреслює, що успішна кросплатформенна розробка вимагає глибокого розуміння різних технічних аспектів, гнучкості у підходах до розробки та здатності ефективно реагувати на виклики, що виникають у цій сфері.

Ключові слова: Кросплатформенна розробка, Мобільні додатки, React Native

Domaratskyi I., Bagniuk N., Bortnyk K., Tyschuk I. Cross-Platform Mobile Application development tools. This article thoroughly examines the fundamental steps and processes involved in creating a cross-platform mobile application. It unveils key challenges and strategies necessary for developing effective mobile applications that meet high standards of quality and functionality across various operating systems. The main aspects discussed in the article include the importance of compatibility with different platforms, optimization of performance, ensuring interface consistency, and challenges related to the updating and support of applications. The article emphasizes that successful cross-platform development requires a deep understanding of various technical aspects, flexibility in development approaches, and the ability to effectively respond to challenges that arise in this field.

Key words: Cross-Platform Development, Mobile Applications, React Native.

Постановка проблеми.

У сучасному світі, який стрімко розвивається та змінюється під впливом цифрових технологій, кросплатформенна розробка стала одним із ключових напрямків у сфері створення мобільних додатків. Незалежно від того, чи йдеться про стартапи, які шукають шляхи швидкого входу на ринок, чи про великі корпорації, які прагнуть максимально охопити аудиторію, кросплатформенність набуває все більшого значення.

Зростання популярності мобільних пристроїв та різноманіття операційних систем ставлять перед розробниками важливе завдання: створювати додатки, які б не лише відповідали високим стандартам якості та функціональності, але й були доступними для широкого кола користувачів, незалежно від вибору операційної системи. Це викликає потребу в розробці таких методологій та підходів, які дозволяли б ефективно та з мінімальними витратами адаптувати додатки для різних платформ.

Кросплатформенна розробка відповідає на ці виклики, пропонуючи інструменти та технології, які дозволяють створювати універсальні рішення. Вона допомагає скоротити час та витрати на розробку, одночасно забезпечуючи ширше охоплення ринку. Проте, важливо розуміти, що цей підхід також несе в собі певні виклики та обмеження, які потребують глибокого аналізу та розуміння.

В цій статті розглянуто ключові аспекти кросплатформенної розробки, аналізуючи її переваги, виклики та найефективніші практики. Метою є надати комплексне розуміння цієї теми та вказати на потенціал, який вона може відкрити для розробників мобільних додатків у найближчому майбутньому.

Викладення основного матеріалу.

Ключовим елементом у кросплатформенній розробці є здатність ефективно вирішувати ряд викликів, які ця сфера ставить перед розробниками. Ці виклики визначають не тільки технічні аспекти розробки, але й загальну стратегію проектування та реалізації додатків.

Найбільш очевидним викликом є необхідність забезпечення сумісності додатку з різними операційними системами, такими як iOS та Android. Це вимагає ретельного розуміння особливостей кожної системи, а також вміння адаптувати додаток таким чином, щоб він не тільки коректно працював, але й зберігав однаковий рівень продуктивності та користувацького досвіду на різних пристроях.

Розробка кросплатформених додатків часто супроводжується викликами, пов'язаними з оптимізацією продуктивності. Різні пристрої мають різні характеристики обладнання, тому важливо забезпечити, щоб додаток ефективно функціонував на всіх цільових пристроях без значних втрат у швидкості або реакції [1].

Ще одним важливим аспектом є забезпечення консистентності користувацького інтерфейсу та загального досвіду користувача. Важливо, щоб додаток не тільки виглядав однаково на різних платформах, але й пропонував схожу функціональність і зручність використання.

Розробка кросплатформених додатків також вимагає ретельного планування оновлень та підтримки. З огляду на те, що зміни потрібно впроваджувати одночасно на різних платформах, це може створювати додаткові логістичні та технічні виклики.

Нарешті, важливим викликом є забезпечення безпеки та конфіденційності користувацьких даних у кросплатформеному середовищі. Розробники повинні враховувати різні стандарти.

У сфері кросплатформеної розробки мобільних додатків існує кілька ключових технологій, кожна з яких має свої унікальні особливості, переваги та обмеження. Розуміння цих технологій є важливим кроком для вибору найбільш підходящого інструменту для конкретного проекту.

1) React Native. Розроблений Facebook, React Native дозволяє розробникам використовувати JavaScript для створення нативних мобільних додатків. Ця технологія є популярною через свою здатність інтегрувати нативні компоненти інтерфейсу прямо у код JavaScript, що забезпечує гладке та нативне відчуття додатків. Вона ідеально підходить для проектів, де потрібен швидкий розвиток та високе перевикористання коду.

2) Flutter. Від Google, Flutter – це порівняно новий гравець у сфері кросплатформеної розробки, який використовує мову програмування Dart. Його особливістю є власна система віджетів, що дозволяє створювати високопродуктивні та візуально привабливі інтерфейси. Flutter підходить для тих, хто хоче створити візуально вражаючий додаток з плавною анімацією та високою продуктивністю на різних платформах.

3) Xamarin. Розроблений Microsoft, Xamarin використовує C# для створення додатків, які можуть працювати на багатьох платформах, використовуючи один і той же код. Xamarin особливо підходить для тих, хто вже знайомий з екосистемою Microsoft та хоче використовувати потужність .NET для розробки мобільних додатків. Він пропонує високий ступінь інтеграції з нативними API кожної платформи.

Кожна з цих технологій має свої сильні та слабкі сторони, і вибір залежить від конкретних вимог проекту, включаючи вимоги до продуктивності, складності інтерфейсу, доступного бюджету та ресурсів, а також досвіду та навичок розробників. Розуміння цих ключових характеристик допоможе вибрати найбільш відповідну технологію для розробки кросплатформеного мобільного додатку. Для чіткішого порівняння ми порівнюємо час запиту на кожній з технологій (рисунк 1) [2].

Розробка кросплатформених мобільних додатків стикається з низкою унікальних викликів, які потребують ретельного аналізу та стратегічного підходу. Вирішення цих викликів є ключовим для успішної розробки та впровадження додатків, які задовольняють потреби користувачів на різних платформах.

–Сумісність з різними платформами. Одним із головних викликів є забезпечення сумісності додатку на різних операційних системах, таких як iOS та Android. Це вимагає глибокого розуміння специфікацій кожної платформи та адаптації додатку таким чином, щоб він зберігав однакову функціональність та користувацький досвід на всіх пристроях.

–Продуктивність додатків. Важливим викликом є забезпечення високої продуктивності додатку на всіх цільових пристроях. Різні операційні системи та характеристики обладнання можуть впливати на продуктивність, тому необхідно оптимізувати додаток для забезпечення плавної роботи.

–Консистентність інтерфейсу. Забезпечення однорідного користувацького інтерфейсу та досвіду на різних платформах також є важливим викликом. Розробники повинні враховувати

різницю в дизайні та взаємодії користувачів з різними пристроями, забезпечуючи при цьому єдність і зручність використання.

–Оновлення та підтримка додатків. Підтримка та оновлення кросплатформених додатків також є складним завданням, оскільки зміни та виправлення помилок потребують одночасного розгортання на різних платформах. Це вимагає чіткого планування та управління версіями.

–Безпека та конфіденційність. Враховуючи різні вимоги до безпеки на різних платформах, забезпечення надійного захисту даних користувачів є критично важливим. Розробники повинні інтегрувати надійні механізми шифрування та автентифікації, забезпечуючи при цьому дотримання відповідних норм і стандартів конфіденційності.

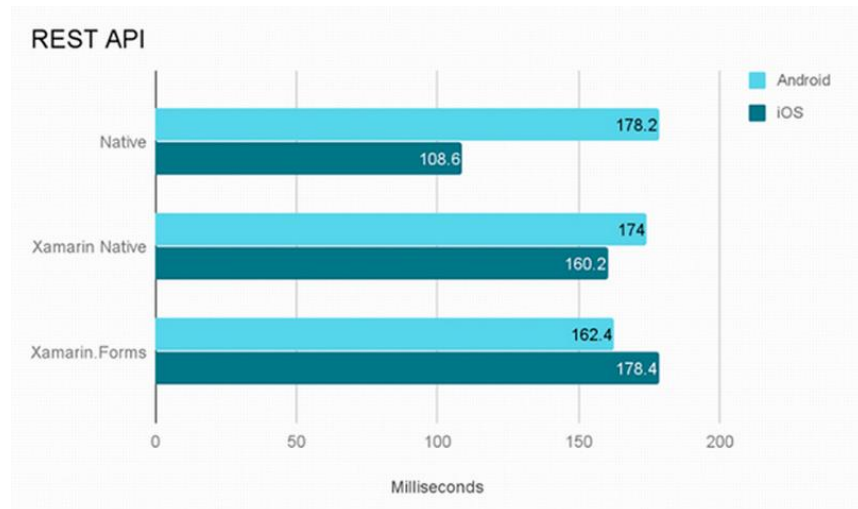


Рис. 1. Порівняння часу запиту на різних технологіях

Ці виклики вимагають від розробників не лише технічної компетентності, але й гнучкості у підходах до розробки, а також глибокого розуміння потреб кінцевих користувачів. Вміння ефективно реагувати на ці виклики визначає успіх кросплатформеного проекту.

Структура Store в даному додатку розроблена для ефективного управління станом та легкої масштабованості. Основні секції store включають:

–Користувачі: Store, який управляє станом користувачів, включаючи авторизацію та дані профілю.

–Дані Інтерфейсу: Store, що містить стан інтерфейсу користувача, включаючи налаштування та UI-елементи.

–Дані Категорій: Store для управління даними категорій, важливими для бізнес-логіки додатку.

Для управління станом використано React hooks від Redux. Це дозволяє ефективно інтегрувати стан Redux з компонентами React, забезпечуючи легкий доступ та оновлення стану.

Дотримання Best Practices щодо нормалізації даних у store, що допомагає уникнути дублювання даних та спрощує їх управління. Це забезпечує більш ефективне використання пам'яті та легше відстеження змін у стані.

Для обробки асинхронних дій та складної бізнес-логіки інтегруємо redux-thunk та redux-saga. Redux-thunk використовується для базових асинхронних операцій, в той час як redux-saga застосовується для більш складних сценаріїв, які вимагають керування багатьма побічними ефектами.

У розробленому додатку використано Redux для централізованого управління станом. Це дозволяє ефективно управляти складними даними та забезпечити однаковий потік даних по всьому додатку. Store організовано на основі трьох основних розділів: користувачі, дані інтерфейсу та дані категорій. Кожен розділ керується окремим reducer, що спрощує розуміння та масштабування коду.

Прийнято модульний підхід, де кожен аспект стану управляється окремим модулем. Наприклад, модуль користувачів відповідає за всі дані та дії, пов'язані з авторизацією та інформацією про користувачів. Це забезпечує чітке розділення відповідальності та полегшує розуміння структури store.

Для підвищення продуктивності впроваджено такі техніки, як memoization із використанням useMemo та useCallback у React, щоб уникнути непотрібних rerenders. Селектори з Reselect допомагають ефективно обробляти та вилучати дані зі store. Також використане ледаче завантаження (lazy loading) для важких компонентів та даних, що знижує початкове навантаження на додаток.

Для реактивного оновлення стану в додатку використовуються хуки useSelector і useDispatch з Redux. Це дозволяє React компонентам відслідковувати зміни у сторі та відповідно реагувати на них, забезпечуючи актуальне відображення даних.

useSelector є хуком, який дозволяє витягувати дані з Redux store безпосередньо у компоненті React. Цей хук приймає функцію селектора як свій аргумент. Функція селектора визначає, які частини стану потрібно витягнути. Наприклад стан user як на (рисунок 2).

Реактивність: Коли стан у Redux сторі змінюється, useSelector автоматично виконує повторний рендеринг відповідного компонента, що використовує цей хук. Це гарантує, що компонент завжди має актуальні дані.

Оптимізація: useSelector оптимізує продуктивність за допомогою поверхневого порівняння результатів селектора. Якщо результат селектора не змінився, компонент не ререндериться [4].

useDispatch використовується для відправки дій до store Redux. Цей хук повертає посилання на функцію dispatch store, що дозволяє компонентам запускати дії Redux.

Активация Змін Стану: Через dispatch компоненти можуть відправляти дії, які активують редюсери в Redux. Це є основним способом зміни стану в додатку.

Гнучкість: useDispatch може використовуватися для відправки будь-яких дій Redux, включаючи асинхронні дії, які обробляються middleware, наприклад, за допомогою redux-thunk або redux-saga.

У додатку ці хуки використовуються для створення високо реактивного інтерфейсу. Наприклад, у компоненті, який відображає інформацію про користувача, використано useSelector для витягування цих даних зі store та useDispatch для відправки дії на оновлення інформації про користувача. Коли користувач оновлює свій профіль, дія відправляється через dispatch, і стор оновлюється, що автоматично ініціює оновлення відповідного компонента завдяки useSelector.

```
import React from "react";
import { useSelector, useDispatch } from "react-redux";
import { updateUserAction } from "../actions";

const UserProfile = () => {
  const user = useSelector((state) => state.user);
  const dispatch = useDispatch();

  const handleUpdateUser = (userData) => {
    dispatch(updateUserAction(userData));
  };

  return (
    <View>
      <Text>{`Welcome, ${user.name}`}</Text>
      { /* More UI elements */ }
      <Button
        onPress={() => handleUpdateUser(newUserData)}
        title="Update Profile"
      />
    </View>
  );
};
```

Рис. 2. Приклад обробки даних

В додатку використано декілька middleware з різними цілями:

– Redux-Thunk. Дозволяє обробляти асинхронні дії. Це надзвичайно корисно для взаємодії з зовнішніми API та обробки асинхронних запитів.

– Redux-Logger. Використовується для логування дій. Це допомагає відстежувати потік дій та станів у додатку, що є корисним для налагодження.

– Redux-Saga. Використовується для більш складних асинхронних операцій та управління побічними ефектами. Цей middleware дозволяє більш ефективно управляти асинхронною логікою та забезпечує більшу гнучкість, ніж Redux-Thunk [5].

Кожен з middleware використовується для конкретних цілей:

Redux-Thunk використовується для асинхронних дій, таких як запити до бази даних або зовнішніх API так як на (рисунк 3).

Redux-Logger допомагає у логуванні дій та змін стану, що полегшує розробку та відлагодження.

Redux-Saga використовується для більш складних сценаріїв, таких як обробка послідовності асинхронних операцій або виконання дій на основі певних умов.

```
// Action Creator with Redux Thunk for async operations
const fetchUserData = () => {
  return async (dispatch) => {
    try {
      const response = await fetch("https://api.example.com/user");
      const data = await response.json();
      dispatch({ type: "FETCH_USER_SUCCESS", payload: data });
    } catch (error) {
      dispatch({ type: "FETCH_USER_ERROR", error });
    }
  };
};
```

Рис. 3. Приклад використання Redux Thunk

Middleware інтегровані в Redux store стандартним способом за допомогою applyMiddleware з Redux. Це забезпечує гладке впровадження міدلварів та їх взаємодію з основною логікою Redux.

Впровадження цих middleware значно покращує процес розробки та тестування:

Розробка. Міدلвари, особливо Redux-Logger, надають важливу інформацію під час розробки, що допомагає швидко ідентифікувати та виправляти помилки. Redux-Thunk і Redux-Saga полегшують роботу з асинхронними процесами. Як під час запитів для отримання великого об'єму даних які відображені на (рисунк 4).

Тестування. Middleware дозволяють більш ефективно тестувати асинхронні дії та побічні ефекти. Інтеграція з тестовими фреймворками, наприклад, з Jest, дозволяє автоматизувати тестування асинхронної логіки.

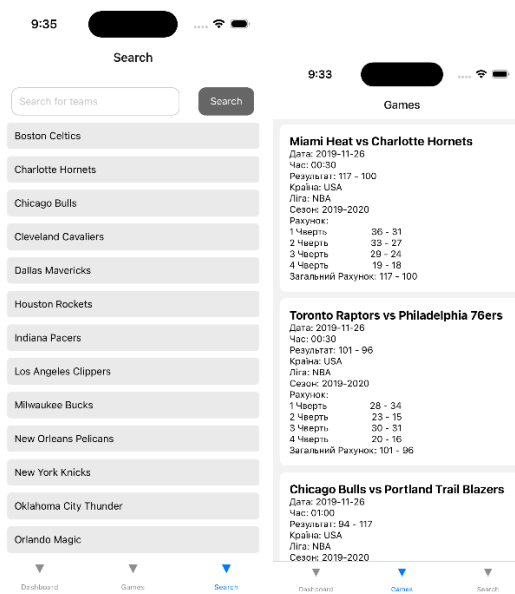


Рис 4. Відображення даних після збереження в store

Висновки.

У статті проведено всебічний аналіз кросплатформенної розробки мобільних додатків, з особливим акцентом на React Native, розглянуто ключові особливості, виклики та принципи роботи цієї платформи, а також детально описано її архітектурні підходи та механізм взаємодії Bridge між JavaScript та нативним кодом.

Завдяки своїй унікальній здатності поєднувати нативні компоненти з гнучкістю JavaScript, React Native відкриває широкі можливості для розробників. Це дозволяє ефективно створювати високопродуктивні мобільні додатки, що забезпечують чудовий користувацький досвід на різних платформах. Однак, успіх у кросплатформенній розробці також вимагає глибокого розуміння викликів, пов'язаних з управлінням продуктивності, сумісністю та безпекою.

Дослідивши можливі способи взаємодії даних в середині додатку без та з використанням принципів бібліотеки Redux однозначно стає зрозуміло, що їх використання пришвидшує та мінімізує процес розробки. Що дозволяє зосереджуватись тільки на основних аспектах розробки.

Зрештою, React Native – це потужний інструмент у руках розробників, який, за умови правильного використання може значно збільшити ефективність розробки та розширити досяжність мобільних додатків. Чи йдеться про стартапи, що шукають швидкого входу на ринок, чи про великі компанії, які прагнуть охопити максимально широку аудиторію, React Native пропонує гнучкі та ефективні рішення для розробки мобільних додатків.

Список бібліографічного опису

1. Guide to cross-platform app development and testing - keenethics. Keenethics. URL: <https://keenethics.com/blog/cross-platform-app-development-and-testing> (date of access: 29.11.2023).
2. Benefits of cross-platform app development | linkup studio. Linkup Studio. URL: <https://linkupst.com/blog/advantages-of-cross-platform-development/> (date of access: 29.11.2023).
3. Awati R. What is cross-platform mobile development? – TechTarget Definition. Mobile Computing. URL: <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/cross-platform-mobile-development> (date of access: 29.11.2023).
4. Griffith C. What is cross-platform mobile application development? | ionic. Ionic: Enterprise App Platform. URL: <https://ionic.io/resources/articles/what-is-cross-platform-app-development> (date of access: 29.11.2023).
5. The six most popular cross-platform app development frameworks | kotlin. Kotlin Help. URL: <https://kotlinlang.org/docs/cross-platform-frameworks.html#flutter> (date of access: 29.11.2023).

References

1. Guide to cross-platform app development and testing - keenethics. Keenethics. URL: <https://keenethics.com/blog/cross-platform-app-development-and-testing> (date of access: 29.11.2023).
2. Benefits of cross-platform app development | linkup studio. Linkup Studio. URL: <https://linkupst.com/blog/advantages-of-cross-platform-development/> (date of access: 29.11.2023).
3. Awati R. What is cross-platform mobile development? – TechTarget Definition. Mobile Computing. URL: <https://www.techtarget.com/searchmobilecomputing/definition/cross-platform-mobile-development> (date of access: 29.11.2023).
4. Griffith C. What is cross-platform mobile application development? | ionic. Ionic: Enterprise App Platform. URL: <https://ionic.io/resources/articles/what-is-cross-platform-app-development> (date of access: 29.11.2023).
5. The six most popular cross-platform app development frameworks | kotlin. Kotlin Help. URL: <https://kotlinlang.org/docs/cross-platform-frameworks.html#flutter> (date of access: 29.11.2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-18>

УДК 004.023

Кардашук Володимир Сергійович¹, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7440-6753>

Бортник Катерина Яківна², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

Багнюк Наталія Володимирівна², к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7120-5455>

¹ Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк, Україна

² Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПРОБЛЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ У ВІРТУАЛЬНИХ ПРИВАТНИХ МЕРЕЖАХ ТА ВІДБИТТЯ АТАК НА WEB-ДОДАТКИ

Кардашук В.С., Бортник К.Я., Багнюк Н.В. Проблеми захисту інформації у віртуальних приватних мережах та відбиття атак на Web-додатки.

У статті розглянуті сучасні проблеми захисту інформації у віртуальних приватних мережах, що використовують технологію VPN, стосовно масштабованості, гнучкості адміністрування, вимог до підключень та вартості. Для реалізації дослідження відбиття атак на WEB-додатки за допомогою евристичного методу проаналізована та досліджена нейронна мережа адаптивної-резонансної теорії. Запропонована модифікована структура, алгоритм навчання нейронної мережі та рішення щодо усунення недоліків її роботи. В результаті дослідження намічені подальші шляхи удосконалення алгоритму навчання нейронної мережі, що направлені на збільшення кількості відбиття атак на WEB-додатки

Ключові слова: приватна мережа, безпека програмного середовища, захист WEB-додатків, нейронна мережа, відбиття атак, алгоритм навчання.

Kardashuk V., Bortnyk K., Bahniuk N. Problems of protecting information in virtual private networks and defending attacks on Web-applications.

The article discusses the current problems of information protection in virtual private networks using VPN technology, in terms of scalability, flexibility of administration, connection requirements and cost. For the implementation of the study of the reflection of the attack on WEB-applications using the heuristic method, the neural network of the adaptive resonance theory was analyzed and researched. A modified structure, learning algorithm of the neural network and solutions to eliminate the shortcomings of its operation are proposed. As a result of the study, further ways of improving the learning algorithm of the neural network aimed at increasing the number of repelling attacks on WEB applications are planned.

Keywords: private network, security of the software environment, protection of WEB applications, neural network, reflection of attacks, learning algorithm.

Актуальність дослідження. Virtual Private Network (VPN) є розширенням приватної мережі, що здійснює свою роботу через мережу Internet. VPN дає користувачам можливість послати дані між двома комп'ютерами по загальнодоступній або відкритій мережі в такий спосіб, що імітує властивості каналів зв'язку типу P2P (Peer-to-Peer) [1]. Це робить віддалений комп'ютер фактично частиною приватної мережі шляхом створення зашифрованого тунелю в загальнодоступній мережі. Технологія VPN розв'язує проблеми, що супроводжують тенденцію до збільшення обсягу дистанційної роботи й широкому поширенню глобальних операцій, де співробітники повинні мати можливість з'єднуватися із центральними ресурсами й взаємодіяти один з одним.

Постановка проблеми. Традиційні методи з'єднання віддалених офісів з корпоративною мережею полягали в тому, що підключення працювало по загальній мережі, що комутується, PSTN (public switched telephone network), або використати спеціалізовану орендовану WAN (wide area network), використовуючи фрейм-ретранслятор або синхронну схему протоколу PPP (Point-to-Point Protocol) [2]. Ці методи вимагають значних витрат часу на адміністрування й доволі не дешеві в обслуговуванні. Типова синхронна схема, що управляє фреймом-ретранслятором PPP або декількома PSTN лініями, становить істотні регулярні витрати компанії. Жодне із цих рішень не дає необхідної масштабованості в термінах вартості, гнучкого адміністрування й вимог до підключень. Тому має сенс замінити модемні пули й інфраструктуру приватних мереж менш дорогим рішенням, заснованим на технології Internet, щоб бізнес міг зосередитися на областях його основної компетенції. За допомогою Internet-рішення всього кілька інтернет-підключень через служби інтернет-провайдерів (Internet Service Provider або ISP) і комп'ютери VPN-серверів можуть обслуговувати потреби віддаленої роботи в мережі клієнтів і філій.

Метою статті є дослідження та розроблення евристичної системи захисту WEB-додатків, що має істотні переваги порівняно з існуючими на сьогоднішній день методами детектування і відбиття атак.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Діяльність, пов'язана з конфігуруванням і створенням VPN, відома як робота у віртуальній приватній мережі. Щоб емулювати зв'язок P2P, дані інкапсулюються або включаються у пакет, при цьому заголовок містить інформацію про маршрутизацію, дозволяючи даним перетинати загальнодоступну або відкриту мережу транзитом для досягнення місця призначення. Для емуляції приватного зв'язку й підтримки конфіденційності посилають дані, що зашифровані. Пакети, перехоплені в загальнодоступній відкритій мережі, передаються у зашифрованому вигляді і без ключів кодування їх неможливо відтворити. VPN-підключення дозволяють користувачам, що працюють віддалено, з'єднуватися безпечним способом з віддаленим сервером організації, використовуючи інфраструктуру маршрутизації, що забезпечується мережею Internet.

З погляду користувача VPN-підключення є прямим підключенням між комп'ютером користувача й сервером організації. Природа проміжної мережі несуттєва для користувача, тому що йому здається, начебто дані послані по спеціалізованому приватному зв'язку.

VPN дозволяє корпорації з'єднуватися з філіями або з іншими компаніями по загальнодоступній мережі (типу Internet) при підтримці високої безпеки зв'язку. В обох випадках безпечне підключення по міжнародній мережі виглядає для користувача як приватний зв'язок, незважаючи на те що цей зв'язок проходить по суспільній міжнародній мережі.

Щоб дати користувачам можливість з'єднуватися з обчислювальними ресурсами організації незалежно від їхнього місця розташування, корпорація повинна розгорнути масштабоване рішення віддаленого доступу. Як правило, корпорації вибирають або таке рішення, у якому внутрішньому відділу інформаційних систем поручається закупівля, установка й підтримка модемних пулів організації й інфраструктури приватної мережі; або вибирають VAN (value-added network) рішення, у якому вони оплачують субдоговір з іншими компаніями на купівлю, установку й обслуговування модемних пулів і інфраструктури телекомунікацій [3].

Вирішення проблеми. З використанням зв'язку між клієнтами на сервер організації або на сервер посередника мережного доступу NAS (network access server) [4], користувач під'єднується до інтернет-провайдера. VPN-клієнт створює VPN-підключення між комп'ютером віддаленого доступу й VPN-сервером організації по Internet. Використання VPN-технології дозволяє компанії скоротити щомісячні регулярні витрати на швидкодіючі схеми. Використання зв'язку через місцевого інтернет-провайдера на офісних сайтах і єдиної швидкодіючої схеми в загальному офісі дозволяє компанії зробити кілька швидкодіючих підключень, керування оверлеєм фрейм-ретранслятора, обслуговування архітектури маршрутизації WAN і пов'язані з ними істотні регулярні фінансові й адміністративні витрати.

Існує два методи використання VPN-технології для підключення локальних мереж на віддалених сайтах. Перший метод - завжди включена VPN. Використання виділених ліній для підключення філій до локальної мережі організації (LAN). Замість того щоб використати дорогу спеціалізовану схему між філіями й корпоративним центром, маршрутизатори як філій, так і центра можуть використати місцеву спеціалізовану схему й місцевий інтернет-провайдер для підключення до Internet. Програмне забезпечення VPN використовує підключення до місцевого інтернет-провайдера й Internet для створення VPN між маршрутизатором філії й центральним маршрутизатором компанії.

Другий метод - включення VPN за вимогою. Замість того щоб мати у філії маршрутизатор, що дозволяє робити з'єднання до корпоративного або NAS-серверу, маршрутизатор філії може викликати місцевого інтернет-провайдера. Маршрутизатор філії використає підключення до місцевого інтернет-провайдера для створення VPN-підключення між маршрутизатором філії й центральним корпоративним маршрутизатором по Internet.

В обох випадках засоби, що відповідають за з'єднання філій і центрального офісу із Internet, є локальними. Будь-який із цих підходів дозволяє корпорації уникнути додаткових витрат на зв'язок між клієнтами, пов'язаних з використанням PSTN-ліній, або витрат на орендований канал, тому що обидві сторони роблять ближні підключення орендованого каналу до свого інтернет-провайдера. Інтернет-провайдер має справи із проблемами проміжного мережного зв'язку, із проблемами

інтернет-маршрутизації й дозволом імен сайтів, тобто всі складності вилучені з роботи глобальної мережі шляхом використання VPN-підключення між сайтами.

При використанні конфігурації VPN-підключення центральний корпоративний маршрутизатор, що діє як VPN-сервер, повинен бути пов'язаний з місцевим інтернет-провайдером по виділеній лінії, що завжди включена й приймає запити на підключення цілодобово.

Є багато ситуацій, коли корпорація хоче мати підключення тільки при необхідності, так що підключення можуть бути сконфігуровані або як "завжди включені", або як "включені за вимогою", які активізуються тільки при необхідності. В об'єднаних мережах деяких організацій частина відомчих даних настільки секретна, що місцева мережа відділу фізично роз'єднана з іншою частиною об'єднаної мережі організації. Таким прикладом можуть бути дані відділу кадрів компанії, що блокуються від загального доступу, або політика Microsoft, що складається в блокуванні даних, що стосується розробки серверів, від персоналу, що не входить у коло розробників.

По суті, найкращий спосіб гарантії того, що дані не будуть скомпрометовані, полягає в тому, щоб взагалі заборонити зв'язок, реалізуючи "повітряний зазор" між захищеними ресурсами й загальним мережним доступом. Хоча цей метод захищає конфіденційну інформацію відділу, він створює проблеми доступу до інформації для користувачів, не зв'язаних фізично з окремими локальними мережами. Технологія VPN забезпечує рішення, що дозволяє локальній мережі відділу зв'язуватися з об'єднаною мережею організації, але при цьому залишатися технічно екранованою й захищеною за допомогою VPN-сервера.

У цій конфігурації мережа фізично підключає екрановану мережу відділу до іншої частини корпорації. Однак використовуючи VPN-сервер як шлюз до мережевих ресурсів екранованого відділу, мережений адміністратор може гарантувати, що тільки ті користувачі об'єднаної мережі організації, які мають відповідні повноваження (credentials) (засновані на політиці необхідного рівня поінформованості в межах компанії), можуть встановлювати VPN-підключення з VPN-сервером і одержувати доступ до захищених ресурсів відділу.

Крім того, весь зв'язок між віддаленою робочою станцією й VPN-сервером може бути зашифрований для збереження конфіденційності даних. Шляхом використання VPN-сервера як шлюза, користувачі, що не мають належних повноважень, не можуть переглядати локальну мережу відділу, а користувачі, що мають належний дозвіл на доступ, можуть переглядати локальну мережу відділу з дотриманням повної таємності й захистом по внутрішній мережі компанії.

Таким чином, VPN дозволяє вирішити цілу низьку проблем пов'язану з забезпеченням комп'ютерної безпеки на сучасному етапі розвитку глобальних мереж.

Щодо проблеми створення безпечного середовища для функціонування WEB-додатків, слід зазначити, що не дивлячись на те, що у сучасному світі інформаційних технологій існує багато розробок, які покликані створити безпечне інформаційне середовище, створити повністю безпечне середовище для конкретного додатка вони ще не здатні. На сьогоднішній день створені надійні системи шифрування, безпечні канали доступу, високоефективні брандмауери, але кінцева точка мережі, яка являє собою у більшості випадків WEB-додаток, є слабо захищеною або незахищеною зовсім.

Провівши детальний аналіз відомостей про методи здійснення атак на WEB-додатки, багато фахівців в області безпеки сходяться в думці, що можливо створити обмежену безліч відбитків (сигнатур) атак, які можуть бути використані для виявлення тієї чи іншої атаки з досить високою ймовірністю.

На сьогоднішній день найбільш успішним і популярним програмним брандмауером, що спеціалізується на захисті WEB-додатків, є проект ModSecurity [5]. Цей брандмауер являє собою модуль для широко розповсюдженого WEB-сервера Apache. Модуль являє собою фільтр який перевіряє POST, GET і COOKIE параметри, які передаються між користувачем і віддаленим сервером у мережі Internet.

Варто зазначити, що ModSecurity вимагає кропіткого й точного налаштування за участю фахівця з безпеки WEB-серверу. Налаштування модуля "за замовчанням" не можуть використовуватися для захисту критичних до проникнення WEB-додатків (наприклад електронних банків або електронних магазинів).

Спробою створити найбільш повну конфігурацію для ModSecurity з урахуванням більшості можливих варіацій атак можна вважати рекомендації, опубліковані в [6]. Це полегшило роботу з

настроювання модуля, однак послуги фахівця для адаптації загальних рекомендацій з настроювання під конкретні завдання усе ще потрібні.

ModSecurity має істотний недолік – відсутність регулярного оновлення баз сигнатур атак. До недоліків цього модуля варто також віднести те, що він оперує лише жорстко заданими правилами й не має евристичних алгоритмів для детектування варіацій відомих атак і попередження нових типів атак. Крім того дії ModSecurity не враховують індивідуальних особливостей всіх WEB-додатків, які можуть обслуговуватися одним WEB-сервером.

У зв'язку з описаними вище недоліками існуючих рішень по захисту WEB-додатків запропоновано систему побудови захисту WEB-додатку і WEB-серверу, що реалізує евристичні можливості за допомогою масиву нейронних мереж адаптивно-резонансної теорії, які оперують двійковими даними. Система працює на сьомому рівні моделі OSI і, завдяки своїм унікальним властивостям, дозволяє не тільки ефективно боротися з існуючими типами атак, але й попереджати проведення нових типів атак. Основною перевагою системи є те, що вона не потребує оновлення бази сигнатур, бо будується на евристичному алгоритмі.

За основу дослідження обрана модель нейронної мережі адаптивно-резонансної теорії (APT) [7]. Серед безлічі вже відомих моделей нейронних мереж ця мережа схожа по своїй роботі з процесом мислення людини. Вона має здатність приймати рішення щодо подібності інформації, яка надійшла, з інформацією, що вже зберігається у пам'яті. Мережа APT-1 здатна приймати рішення на основі раніше отриманого досвіду (даних).

Базова архітектура мереж APT (рис. 1) включає три групи нейронів: поле F1 вхідних обробних нейронів, що складає із двох шарів елементів, шар Y-нейронів розпізнавальних нейронів і керуючий нейрон R. Архітектура мережі APT-1 крім наявності базової групи нейронів має додаткові зв'язки й елементи G1 і G2 (рис. 2).

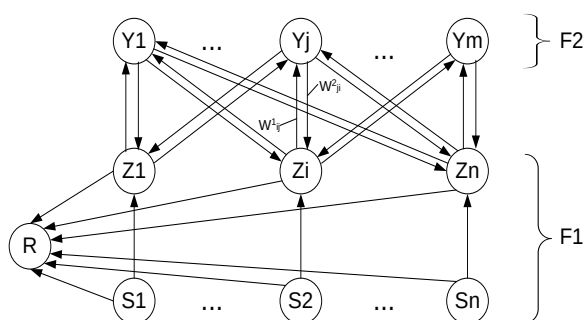


Рис. 1– Базова архітектура мережі APT

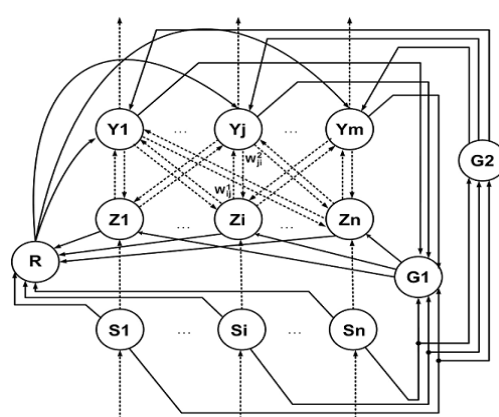


Рис. 2 – Архітектура нейронної мережі APT-1

Нейронна мережа адаптивної-резонансної теорії відносить вхідне зображення до одного зі сформованих класів у процесі навчання, якщо воно відповідає заданому критерію подібності й у достатньому ступені подібно із прототипом цього класу. Далі відбувається модифікація вхідного зображення для більшої відповідності із пропонованим зображенням – корегуються ваги зв'язків.

Поле F1 вхідних обробних нейронів складається із двох шарів – вхідного шару S-елементів і інтерфейсного шару Z-елементів. Вхідний шар сприймає пропоноване зображення й передає отриману інформацію нейронам інтерфейсного Z-шару й керуючому нейрону R.

Кожний елемент Z_i ($i = 1, \dots, n$) інтерфейсного шару пов'язаний з кожним елементом Y_j ($j = 1, \dots, m$) шару, що розпізнає, з Y двома видами зв'язків. Сигнали з інтерфейсного шару до шару Y передаються зв'язками, що йдуть знизу нагору з вагою W_{1ij} , а із розпізнавального шару до інтерфейсного – зв'язками ваги W_{2ji} , ($j = 1, \dots, m, i = 1, \dots, n$).

Шар Y є шаром конкуруючих нейронів, що змагаються. У будь-який час кожний елемент Y_j ($j = 1, \dots, m$) розпізнавального шару може перебувати в одному із трьох станів: 1 – активний, бере участь у змаганнях; 0 – неактивний, але нейрон може брати участь у змаганнях; -1 – загальмований, не бере участь у змаганнях при пред'явленні поточного зображення.

Після пред'явлення вхідного зображення активним залишається тільки один нейрон, що розпізнає (нейрон-переможець), всі інші Y -елементи мають нульові або негативні вихідні сигнали. Виділений нейрон, що розпізнає, допускається до навчання вхідним зображенням тільки в тому випадку, коли його ваговий вектор зв'язків із шару Y до шару Z подібний до вхідного вектору. Це рішення приймається за допомогою R -нейрона й параметра подібності, а так само сигналів, що надходять із вхідного й інтерфейсного шарів елементів.

Якщо отриманий параметр подібності задовольняє заданому параметру подібності, то пропонуване зображення класифікується, щодо виділених класів при навчанні, відбувається коректування ваги зв'язків. Якщо ж параметр подібності не задовольняє заданому параметру, то поточний нейрон-переможець загальмовується й починається пошук іншого нейрона-переможця з нейронів, що залишилися, розпізнавального шару Y . При ситуації, коли всі нейрони шару, що розпізнає, загальмовані, виділяється новий клас зображення й коректуються ваги зв'язків.

Для подальшого розпізнавання вхідних образів змодельована надбудова над верхнім розпізнавальним шаром нейронів. Вона являє з себе матрицю відповістей, на горизонталі якої розташовані номери зображень, а по вертикалі – номери нейронів-переможців. У процесі розпізнавання, знаючи номер Y -нейрона, що спрацював, можна одержати весь список подібних вхідному еталонних зображень. Ця програмна надбудова полегшує процес аналізу, надає людині, якщо це буде необхідно, пояснення того, чому було прийняте те чи інше рішення.

При опису алгоритму використалися наступні позначення: m – максимальне число елементів, що розпізнають; n – число компонентів у вхідному векторі; S_k – n -мірний бінарний вхідний вектор, $k = 1, \dots, q$; q – число вхідних векторів; $U_{вих}S = (U_{вих}S_1, \dots, U_{вих}S_m)$ – вхідний шар; $U_{вих}Z = (U_{вих}Z_1, \dots, U_{вих}Z_n)$ – інтерфейсний шар; $U_{вих}Y = (U_{вих}Y_1, \dots, U_{вих}Y_m)$ – шар, що розпізнає;

$\|X\|$ – норма вектору X ; $\|Z\|$ – норма вектору Z ; P – заданий параметр подібності, $0 < p < 1$; P_{sh} – отриманий параметр подібності; W_{1ij} – вага зв'язку від елемента Z_i ($i = 1, \dots, n$) до елемента Y_j ($j = 1, \dots, m$); W_{2ji} – вага зв'язку від елемента Y_j до елемента Z_i ($j = 1, \dots, m$; $i = 1, \dots, n$); L – константа, що перевершує одиницю.

Представимо алгоритм навчання мережі АРТ-1 крок за кроком.

Крок 1. Ініціалізація параметрів, завдання початкових значень: n, m, L, p , вагів зв'язків W_{ij1} та W_{ji2} , шарів вхідного, інтерфейсного та розпізнавального $W_{ij1} = 1/(1+n)$; $W_{ji2} = 1$, ($U_{вих}S_i = S_{ik}$, $U_{вих}Z_i = 0$, де $i = 1, \dots, n$).

Крок 2. Поки не виконуються умови завершення, виконуються кроки 3 – 14 алгоритму навчання нейронної мережі.

Крок 3. Для кожного вхідного зображення S_k ($k = 1, \dots, q$) виконуються кроки 4 – 14.

Крок 4. Задаються нульові вхідні сигнали віх елементів, що розпізнають, у шарі Y ; $U_{вих}Y_j = 0$, $j=1, \dots, m$.

Крок 5. Обчислюється норма вектору вихідних сигналів нейронів вхідного шару:

$$\|U_{вих}S\| = \|S_k\| = \|U_{вих}S\| = \|S^k\| = \sum_{i=1}^n S_i^k.$$

Крок 6. Формуються вхідні й вихідні сигнали елементів інтерфейсного шару: $U_{вих}Z_i = U_{вих}S_i$, $i = 1, \dots, n$; $U_{вих}Z_i = U_{вих}Z_i$, $i = 1, \dots, n$.

Крок 7. Для кожного не загальмованого Y -нейрона ($U_{вих}Y_j \neq -1$) розраховується його вихідний сигнал:

$$U_{вих}Y_j = U_{вих}Y_j = \sum_{i=1}^n W_{ij}^1 \cdot U_{вих}Z_i, j = 1, \dots, m.$$

Крок 8. Поки не знайдено Y -нейрон, ваговий вектор якого відповідно до заданого значення параметра подібності P відповідає вхідному вектору S_k , виконуються кроки 9 – 12.

Крок 9. У шарі Y -нейронів визначається нейрон YJ , що задовольняє умові: $U_{вих}YJ \geq U_{вих}Y_j$, $j=1, \dots, m$.

Якщо таких елементів декілька, те вибирається елемент із найменшим індексом. Якщо всі елементи розпізнавального шару $U_{вих}YJ = -1$ загальмовані, вважається, що вхідне зображення не може бути класифіковане.

Крок 10. Розраховуються вихідні сигнали Z -елементів: $U_{вих}Z_i = U_{вих}S_i W_{ji2}$, $i = 1, \dots, n$.

Крок 11. Обчислюється норма вектору вихідних сигналів інтерфейсного шару:

$$\|U_{\text{вих}Z}\| \|U_{\text{вих}Z}\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{вих}Zi}.$$

Крок 12. Обчислюється параметр подібності Psh: $Psh = \|U_{\text{вих}Z}\| / \|Sk\|$.

Якщо $Psh < P$, тобто умова не виконується, елемент YJ загальмовується ($U_{\text{вих}YJ} = -1$), здійснюється перехід до кроку 8 алгоритму навчання нейронної мережі.

Якщо $Psh \geq P$ та умова можливості навчання нейрона YJ виконується, тоді здійснюється перехід до наступного кроку алгоритму.

Крок 13. Адаптуються ваги зв'язків елемента YJ. $W_{ij1} = (LU_{\text{вих}Zi}) / (L-1+\|U_{\text{вих}Z}\|)$, $i=1, \dots, n$; $W_{ji2}=U_{\text{вих}Z}$, $i=1, \dots, n$.

Крок 14. Перевіряються умови завершення. Умовами завершення роботи можуть бути: відсутність змін ваг W_{ij1} W_{ji2} , якщо протягом інтервалу або досягнення заданого числа.

Крок 15. Завершення роботи.

Засоби компенсації недоліків нейронної мережі АРТ-1. Для усунення недоліків роботи нейронної мережі в роботі було зроблене наступне:

- для розв'язання проблеми порушення динамічності системи прийнято рішення побудови моделі нейронної мережі з комбінуванням динамічних і статичних масивів. Динамічні масиви дозволяють розширювати мережу на скільки це буде необхідним. Границю розширенню нейронній мережі ставить лише обсяг оперативної пам'яті комп'ютера.

- для розв'язання проблеми можливого невірного розпізнавання образів, коли при незначній зміні параметрів двійковий вектор отримує дуже значні зміни, які відбиваються на результаті розпізнавання, прийнято особливі правила кодування вхідних параметрів. При обраних правилах кодування близькі по своїй суті значення вхідних параметрів мають близькі по двійковій структурі коди.

- для спостереження за процесом прийняття рішення нейронною мережею, до класичної структури мережі додано спеціальні масиви, що динамічно розширюються. У цих масивах зберігається вся історія векторів, що були пов'язані з кожний нейроном мережі. Аналіз цієї інформації дозволяє зробити висновок чому саме мережа прийняла те чи інше рішення. Також ця інформація дозволяє зробити швидке перенавчання окремо взятого нейрона з виключенням помилково розпізнаного вектору (такі дії називаються "відкатом системи").

Удосконалена структура нейронної мережі зображена на рис. 3.

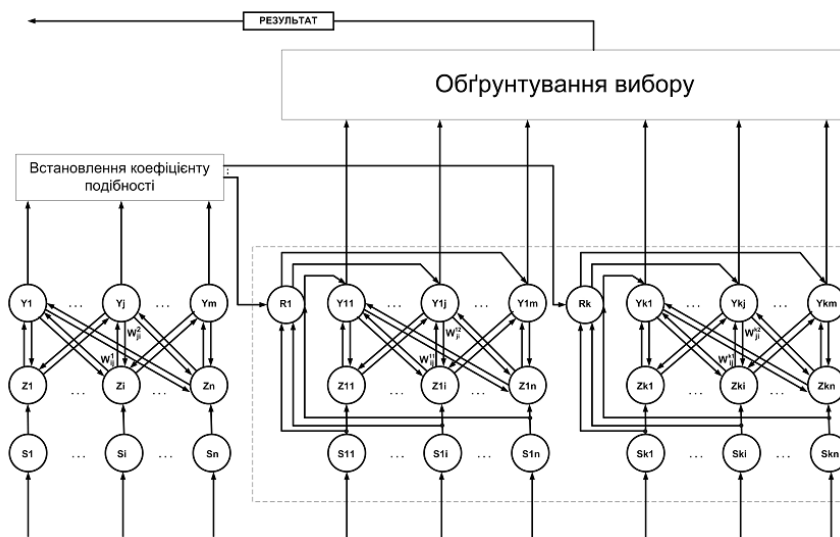


Рис. 3 – Модифікована структура мережі АРТ-1

Для поліпшення якості розпізнавання образів розроблену спеціальну систему нейронних мереж. Для кожної сторінки WEB-додатку, що захищається, відводиться одна нейронна мережа, яка несе в собі інформацію про всі легітимні дії з цієї сторінкою. Нейронна мережа, що захищає окремо

взяту сторінку, має не тільки здатність запам'ятовувати легітимні дії користувача, але й відрізняти легітимні дії від нелегітимних. Окрім набору нейронних мереж, що захищають окремі сторінки WEB-додатку, існує ще одна додаткова нейронна мережа, що відповідає за класифікацію користувачів. Класифікація користувачів потрібна для того, щоб встановлювати для нейронних мереж, що захищають сторінки WEB-додатку, параметра подібності відповідно до кожного класу користувача. Це потрібно для того, щоб нейронна мережа ставилася до дій "підозрілих" користувачів з більшою "увагою".

Таким чином стандартна структура нейронної мережі в процесі дослідження її недоліків, щодо розв'язання конкретної задачі, набула деяких нових рис. До нейронної мережі було додано спеціальні блоки для зберігання історії по кожному нейрону, а також було введено спеціальний механізм управління зміною параметра подібності для кожної мережі, що захищає окремо взяті сторінки WEB-додатку.

Після одержання результатів класифікації користувача (нейронна мережа зліва на рис. 3) та встановлення коефіцієнту подібності відповідно заданих правил, модифікуються коефіцієнти подібності для кожної з k нейронних мереж, що захищають сторінки WEB-додатку.

Якщо перша мережа, що відповідає за класифікацію користувачів не знайшла відповідного відбитку вектору, то вважається, що користувач раніше не робив ніяких дій, які могли викликати "підозру" у системи захисту. В такому випадку для нейронних мереж, що захищають сторінки WEB-додатку встановлюється деяке значення параметра подібності за замовчанням.

Коли мережа, що відповідає за класифікацію користувачів, знаходить у своїй пам'яті відбиток вектору подібний до вектору, що надійшов, то для нейронних мереж, що захищають сторінки WEB-додатку, встановлюється більш низький коефіцієнт подібності, тобто система буде ставитися до такого користувача більш ретельно, бо його дії раніше викликали підозру.

Нейронні мережі, що захищають сторінки WEB-додатку працюють за таким же принципом, як і нейронна мережа, що класифікує користувачів, але результати роботи першої інтерпретуються з точністю до навпаки. Коли нейронна мережа знайшла у своїй пам'яті відбиток вектору, що надійшов на входи, то поведінка користувача вважається нормальною, бо на початковому етапі нейронну мережу навчили поняттю "нормальної поведінки".

Якщо нейронна мережа, що захищає окремо взятую сторінку WEB-додатку, не знаходить відповідності вхідного вектору до збережених раніше векторів, то система починає стежити за таким користувачем. Якщо кількість дій, що визивають "занепокоєння" у системи перевищує деяке заздалегідь задане число, то система додає відбиток користувача до нейронної мережі класифікації користувачів з поміткою "підозрілий користувач". Останнє означає, що коефіцієнт подібності для такого користувача зменшується і якщо він у подальшому буде проводити "підозрілі" дії, то система класифікує його як зловмисника і блокує його доступу до WEB-додатку з видачою повідомлення адміністратору системи.

Адміністратор, проглянувши висновок системи і підтвердивши, що користувача було вірно класифіковано як зловмисника, тим самим навчає систему. Таким чином, чим більше часу працює система, тим більше інформації вона має.

Треба особливо зазначити, що система може цілком працювати без втручання адміністратора при відповідних налаштуваннях параметрів "лояльності" системи.

Результати досліджень. Нейронні мережі, які захищають окремі WEB сторінки сайту, працюють по аналогічному принципу, але результат їхньої роботи інтерпретується з точністю до навпаки: якщо була знайдена відповідність вхідного вектору в пам'яті мережі, то це нормальна ситуація, а якщо відповідності не було знайдено, то, можливо, ми маємо справу з атакою й необхідно більш пильно стежити за поточним користувачем.

Висновки. Запропонований метод побудови евристичної системи захисту WEB-додатків має істотні переваги порівняно з існуючим на сьогоднішній день методом детектування і відбиття атак на основі ModSecurity.

До переваг систем захисту на базі запропонованого методу можна віднести:

- здатність до виявлення нових типів атак, коли сигнатурний аналіз безсилий у силу своєї статичної природи;

- система не вимагає відновлення сигнатур, тому що засновано на аномаліях поведінки, тобто не потребує розробки і підтримки доволі не дешевої інфраструктури у мережі Internet, яка б дозволяла регулярно отримувати оновлення сигнатурних баз;

– дає можливість відслідковувати дії користувача, що неодноразово робить спроби проникнення, тобто "слідкує" за користувачем впродовж усіх циклів роботи з WEB-додатком;
– повністю адаптується під особливості WEB-додатку що захищає.

Як показали проведені експерименти, система здатна виявляти атаки, які не було виявлено на попередніх етапах сканування ні брандмауером, ні фільтром ModSecurity. При достатньому періоді навчання евристична система здатна виявляти до 40% таких атак.

Розроблений метод може застосовуватися як в якості додаткової ланки захисту у вже існуючих системах запобігання вторгнень, так і в якості самостійної системи виявлення та відбиття атак.

Список бібліографічного опису

1. Що таке VPN, і як ним безпечно користуватись. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ukurier.gov.ua/uk/news/sho-take-vpn-i-yak-nim-bezpechno-koristuvatis/> t (дата звернення 17.10.2023).
2. PPP Protocol. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.javatpoint.com/ppp-protocol> (дата звернення 17.10.2023).
3. Value-Added Network (VAN): Definition, How It Works, and Purpose. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.investopedia.com/terms/v/value-added-network.asp> (дата звернення 17.10.2023).
4. What Is a Network Access Server (NAS)? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.okta.com/identity-101/what-is-a-network-access-server/> (дата звернення 17.10.2023).
5. Web Application Firewall (ModSecurity). [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://docs.plesk.com/en-US/obsidian/administrator-guide/server-administration/web-application-firewall-modsecurity.73383/#> (дата звернення 17.10.2023).
6. Ken Coar, Rich Bowen. Apache Cookbook. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.oreilly.com/library/view/apache-cookbook/0596001916/> (дата звернення 17.10.2023).
7. І. А. Терейковський, Д. А. Бушуєв, Л. О. Терейковська. Штучні нейронні мережі: Базові положення. Навчальний посібник. Вид-во «Національний технічний університет України «КПІ», 2022 . с. 123.

References

1. What is a VPN and how to use it safely. [Electronic resource]. Access mode: <https://ukurier.gov.ua/uk/news/sho-take-vpn-i-yak-nim-bezpechno-koristuvatis/> t (access date 10/17/2023).
2. PPP Protocol. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.javatpoint.com/ppp-protocol> (access date 10/17/2023).
3. Value-Added Network (VAN): Definition, How It Works, and Purpose. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.investopedia.com/terms/v/value-added-network.asp> (access date 10/17/2023).
4. What Is a Network Access Server (NAS)? [Electronic resource]. Access mode: <https://www.okta.com/identity-101/what-is-a-network-access-server/> (access date 10/17/2023).
5. Web Application Firewall (ModSecurity). [Electronic resource]. Access mode: <https://docs.plesk.com/en-US/obsidian/administrator-guide/server-administration/web-application-firewall-modsecurity.73383/#> (access date 10/17/2023).
6. Ken Coar, Rich Bowen. Apache Cookbook. [Electronic resource]. Access mode: <https://www.oreilly.com/library/view/apache-cookbook/0596001916/> (access date 10/17/2023).
7. I. A. Teraykovskiy, D. A. Bushuev, L. O. Teraykovskaya. Artificial neural networks: Basic provisions. Tutorial. - Issued by "National Technical University of Ukraine "KPI", 2022 p. 123.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-19>

УДК: 004.422.833

Костенко Олексій Віталійович, аспірант

<https://orcid.org/0009-0000-2947-6676>

Кузенков Олександр Олександрович, к.фіз.-м.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6378-7993>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ

Костенко О.В., Кузенков О.О. Вирішення задачі оптимального розміщення обладнання методом генетичних алгоритмів. Задачі логістики є невід'ємною частиною діяльності багатьох підприємств та організацій у всьому світі. Вирішення цих завдань вимагає ефективного управління ресурсами, оптимального розміщення та транспортування. Для математичного моделювання логістичних задач використовується математичне програмування. Використано оптимізаційну задачу цілочисельного (дискретного) програмування - задачу про розміщення обладнання. Точний розв'язок задачі розміщення обладнання NP-складний. Розглядаються наближені розв'язки за допомогою евристичних алгоритмів.

Евристичні техніки оптимізації, використовуються у вирішенні складних комбінаторних задач. Генетичний алгоритм є підходом, який відображає природний еволюційний процес, що відбувається в світі живих організмів. Зокрема схрещування, мутації та селекції (природного відбору) при розвитку популяцій живих істот. У популяції кожен індивід кодує рішення задачі що обчислюється у свій геном. Наступні покоління створюються через оператори рекомбінації властивостей батьків та випадкових варіацій властивостей через мутації. Для вибору кращого рішення використовується функція пристосованості. Більш пристосовані індивіди мають більший шанс на продовження роду. Генетичні алгоритми завдяки паралелізованій конструкції та функції придатності є цінними інструментами для пошуку розв'язку складних задач. Основним завданням при використанні генетичних алгоритмів є пошук початкових значень параметрів алгоритму, а також доцільності зміни параметрів після розрахунку декількох поколінь.

Для задачі про оптимальне розміщення обладнання розглянуто наближений розв'язок за допомогою генетичних алгоритмів. Запропонований набір початкових параметрів генетичного алгоритму. Отриманні результати можуть використовуватися для дослідження та вирішення логістичних проблем.

Ключові слова: оптимальне розміщення обладнання, генетичний алгоритм, логістичні задачі, ГА.

Kostenko O., Kuzenkov O. Solving the facility location problem by genetic algorithms. Efficient facility location is a critical component of logistics and supply chain management, impacting the cost-effectiveness and responsiveness of distribution networks. The Facility Location Problem (FLP) is a well-established optimization challenge that involves determining the optimal placement of facilities to serve a set of demand points. This article presents a novel approach to address logistic problems formulated as FLPs using Genetic Algorithms (GAs).

Genetic Algorithms are evolutionary optimization techniques that have shown remarkable success in solving complex, combinatorial problems. In this study, we adapt and apply a genetic algorithm to find solutions for real-world logistic problems, focusing on facility location decisions. The proposed approach harnesses the power of genetic algorithms to optimize facility placement, considering factors such as transportation costs, demand patterns, and facility capacity constraints.

The article outlines the formulation of logistic problems as FLPs and explains the adaptation of genetic algorithms to solve them. It discusses the design of the genetic algorithm, including the representation of solutions, genetic operators, and the fitness function, which accounts for various logistics objectives. Through a series of experiments and case studies, the article demonstrates the effectiveness of the genetic algorithm-based approach in optimizing facility location decisions, ultimately leading to reduced operational costs and improved service quality.

The results highlight the capability of genetic algorithms to find near-optimal solutions in a reasonable amount of time for large-scale logistic problems. Additionally, this study offers insights into the trade-offs between various logistic objectives and provides decision-makers with valuable tools to make informed facility location decisions.

Efficient facility location is a critical component of logistics and supply chain management, impacting

Keywords: FLP, Facility Location Problem, Genetic algorithm, GA, integer programming.

Вступ. Ефективне розташування об'єктів є критично важливою складовою логістики та управління ланцюгом постачання, яка впливає на вартість та швидкість надання послуг [1, с. 19]. Задача розташування обладнання (Facility Location Problem, FLP) є добре вивченою оптимізаційною задачею, яка передбачає визначення оптимального розміщення об'єктів для зменшення суми відстаней до клієнтів у міні-сумній постанові задачі, або зменшення максимальної відстані до клієнта у міні-максій постановці задачі. У цій статті розглянуто підхід вирішення логістичних проблем, сформульованих як FLP, методом розв'язку FLP обрано генетичний алгоритм (ГА).

Постановка задачі. Розробити програму яка за заданими координатами вузлів мережі, та кількості об'єктів надання послуг буде проводити пошук оптимального розміщення цих об'єктів. Вхідні дані надаються у вигляді текстового файлу з координатами споживачів послуг і кількість

об'єктів обслуговування. реалізувати можливість передачі параметрів розв'язуючого алгоритму. Потрібно знайти оптимальне розміщення об'єктів надання послуг таке, щоб сума відстаней від споживачів до найближчого об'єкту обслуговування була мінімальна.. Як математичну модель використати задачу розташування об'єктів (FLP). Як метод розв'язку застосувати генетичний алгоритм.

Проста задача розміщення об'єктів на мережі - це математична формалізація, яка використовується при прийнятті рішень щодо вибору місць розміщення підприємств, що виробляють однорідну продукцію для задоволення встановленого попиту. Нехай існує m можливих та n місць споживання (точок попиту), $m \leq n$, розташованих у вузлах мережі $G(V, U)$, де $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ - множина вершин, $U = \{u_1, \dots, u_p\}$ - множина ребер мережі. Задані величини b_j , $j = 1, \dots, n$; q_i^0 , $i = 1, \dots, m$; $(c_{i,j})$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$, де

- b_j - попит у точці споживання j ;
- q_i^0 - витрати на запуск підприємства в дію i ;
- c_i - вартість виробництва одиниці продукції в місці розміщення i ;
- $c_{i,j}$ - витрати на доставку одиниці продукції з місця виробництва i в точку споживання j

Вважається, що кожен споживач обслуговується одним підприємством. Цільова функція задачі - загальні витрати на розміщення підприємств та обслуговування попиту - повинна бути мінімізована. Проста задача розміщення на мережі записується в виді

$$\sum_{i \in \mathbb{N}} q_i^0 + \sum_{j=1}^n \min_{i \in \mathbb{N}} q_{i,j} \rightarrow \min_{\mathbb{N} \subseteq [1, \dots, m]}$$

де $q_{i,j} = b_j(c_i + c_{i,j})$, $i = 1, \dots, m$, $j = 1, \dots, n$.

Задачу розміщення на мережі відносять до числа NP-складна (складність задач дискретної оптимізації). Для деяких класів простих задач розміщення на мережі побудовані ефективні точні алгоритми. Найбільш відомими є задачі із зв'язаними та квазіопуклими матрицями $(Q_{i,j})$. Матриця

$(Q_{i,j})$ квазіопукла, якщо для будь-яких $j = 1, \dots, n$ і $1 \leq i_1 < i_2 < i_3 \leq m$, $q_{i_2,j} \leq \max\{q_{i_1,j}; q_{i_3,j}\}$.

Матриця $(Q_{i,j})$ зв'язана, якщо для будь-яких $1 \leq i, k \leq m$ різниця $(q_{i,j} - q_{k,j})$ змінює знак не більше одного разу при монотонній зміні $j = 1, \dots, n$. В загальному випадку для вирішення простої задачі розміщення на мережі добре зарекомендували себе методи гілок та меж.

Для нелінійної простої задачі розміщення виробнича функція $q_i(V_i)$ - витрати на розміщення потужності i залежить від сумарного розміру попиту V_i , задоволеного із цього підприємства. У випадку кусочно-лінійної, зростаючої, увігнутої, виробничої функції нелінійна задача розміщення зводиться до простої задачі розміщення на мережі.

Генетичні алгоритми - це методи оптимізації, які натхнені природним відбором та генетикою. Вони використовують поняття популяції, хромосом та генів для ефективного пошуку оптимального рішення [7, 8].

Кроки вирішення задачі за допомогою генетичного алгоритму [9, 10]:

Початкова популяція: Спочатку створюємо початкову популяцію, де кожен індивід представляє потенційне рішення для розміщення об'єктів. Координати кожної потужності було вибрано випадково.

Функція придатності: Функція придатності оцінює якість кожного рішення у популяції. У випадку FLP, метрикою може бути загальна вартість обслуговування клієнтів. В нашому випадку у якості функції придатності беремо суму відстаней від кожного клієнта до найближчого об'єкта обслуговування

Відбір: Найкращі індивіди вибираються для наступного покоління з урахуванням їхньої фітнес-оцінки. Це включає в себе елітних індивідів, які будуть без змін внесені до наступного покоління. Кількість елітних індивідів будемо задавати як параметр програми.

Схрещування: Два індивіди з парильної популяції схрещуються, створюючи нових індивідів, які поєднують гени батьків. Це допомагає розширювати різноманітність рішень.

Мутація: З обраною імовірністю відбувається мутація, де деякі гени індивіда змінюються випадковим чином. Це допомагає виходити за межі обмежень популяції та може призвести до виявлення нових оптимальних рішень. Відсоток мутації задаватимемо як параметр програми, проаналізуємо роботу програми з різним відсотком мутацій.

Повторення: Кроки відбору, схрещування та мутації повторюються протягом кількох поколінь. Це дозволяє алгоритму шукати оптимальне рішення в просторі рішень.

Завершення: В цій задачі ми не будемо вибирати критерію зупинки у вигляді оцінки точності знайденого наближення, алгоритм завершується після заданої кількості поколінь. Краще рішення у популяції вважається остаточним рішенням задачі розміщення об'єктів.

Чисельні результати та їх обговорення. Згенеруємо для тестів кілька наборів точок. Координати кожного набору зображено на рисунках 1 та 2:

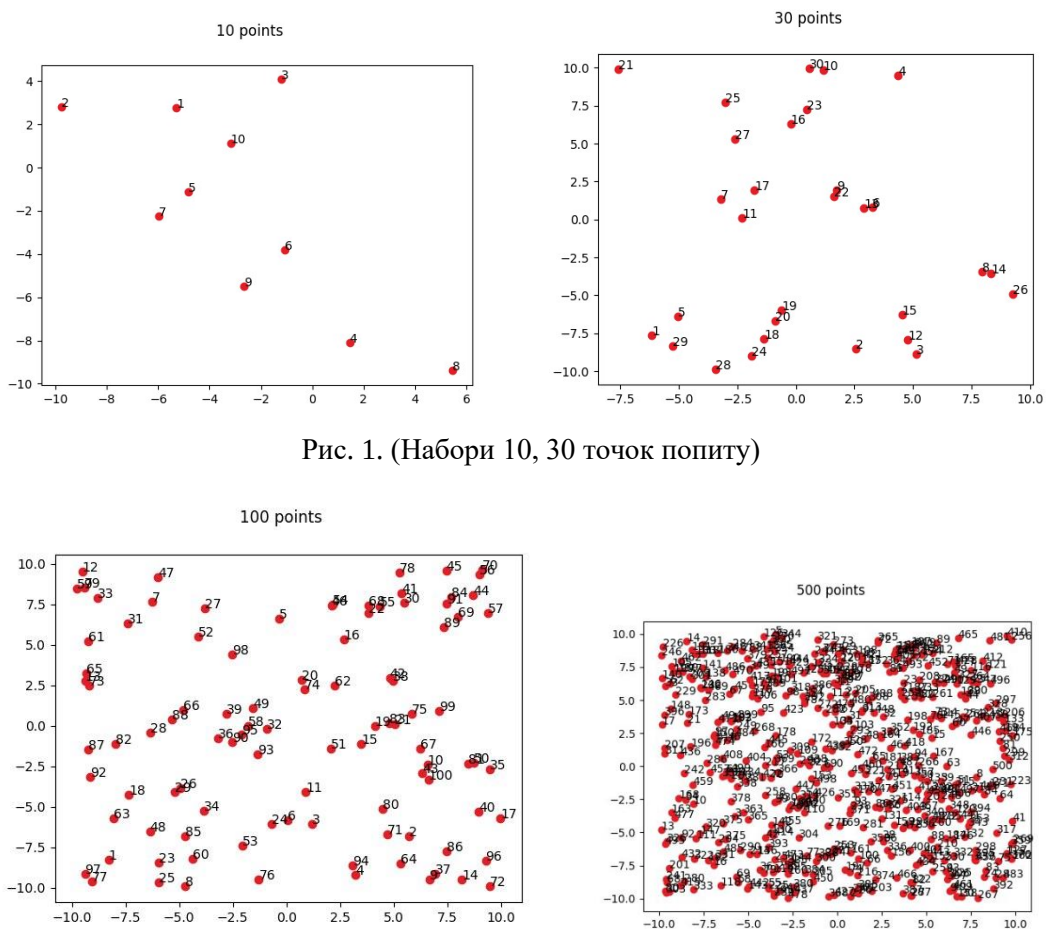


Рис. 2. (Набори 100, 500 точок попиту)

Виберемо досить довільно наступні константи: три об'єкта обслуговування, 30 осіб у кожній популяції, дві найкращі особи переносяться(еліти), рівень мутацій 10 відсотків і 200 поколінь як умова завершення. Спочатку зробимо кілька випробувань без параметру «мудрість гурту».

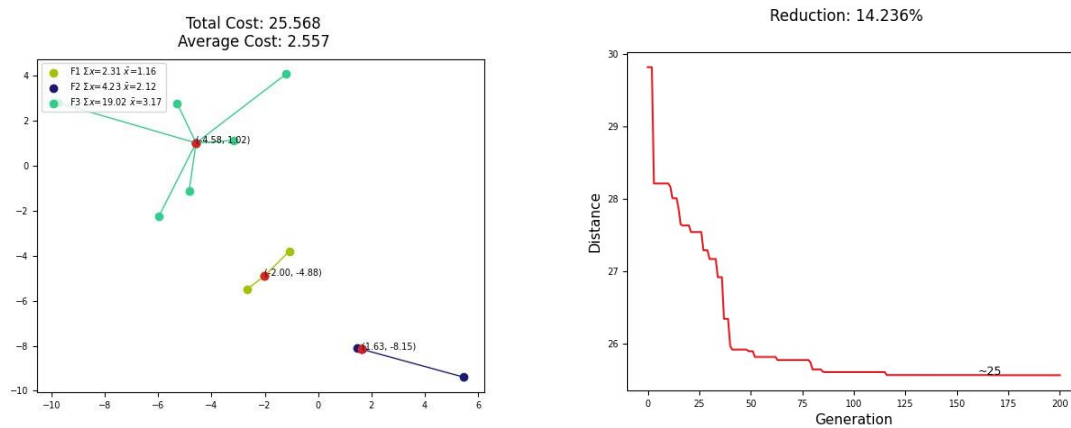


Рис. 3. (Розрахунок розміщення для 10 точок попиту)

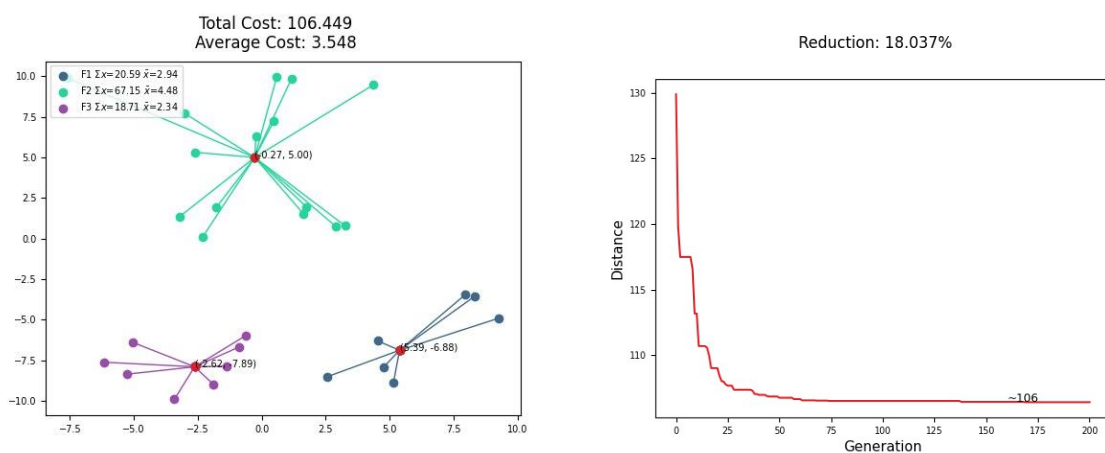


Рис. 4. (Розрахунок розміщення для 30 точок попиту)

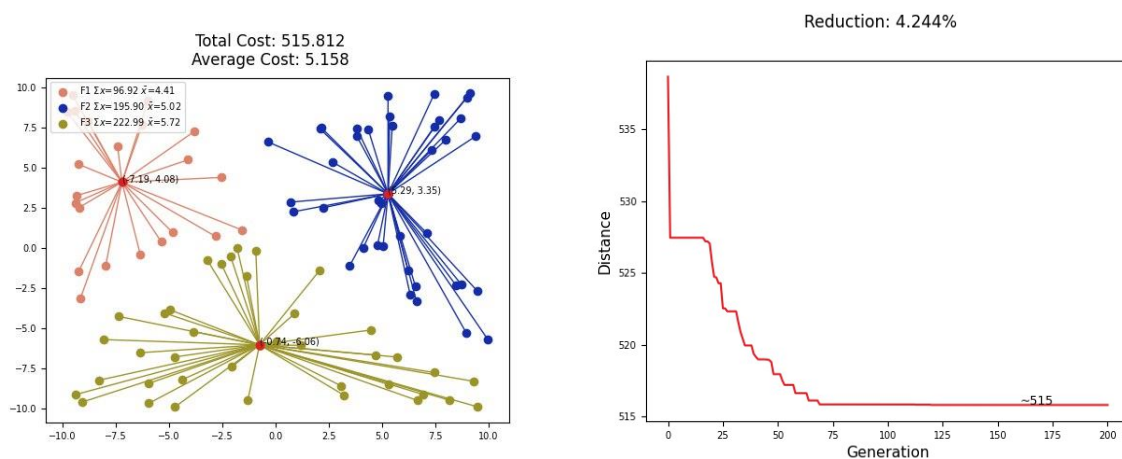


Рис. 5. (Розрахунок розміщення для 100 точок попиту)

Як бачимо для невеликої кількості точок попиту та точок обслуговування, алгоритм збігається до деякого мінімуму досить швидко.

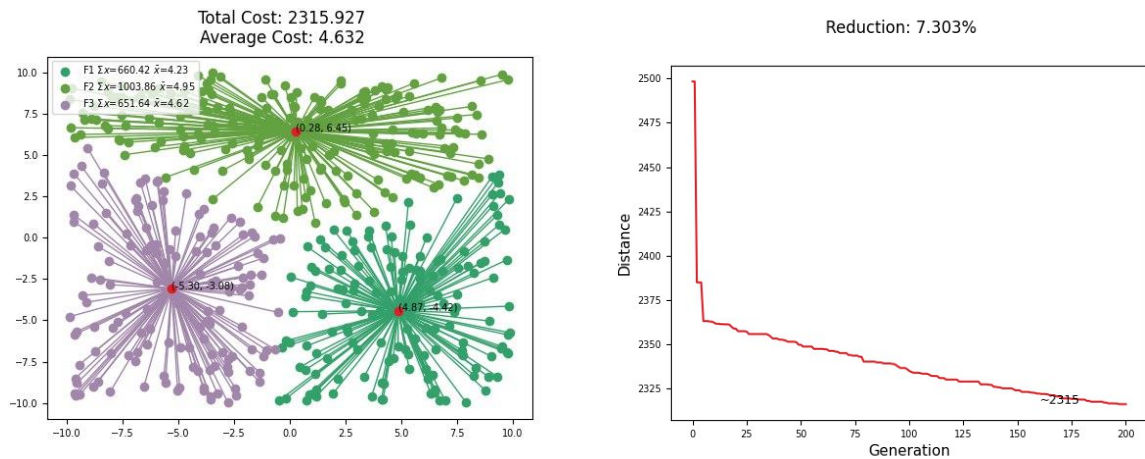


Рис. 6. (Розрахунок розміщення для 500 точок попиту)

Для 500 споживачів, двісті поколінь роботи генетичного алгоритму на заданих параметрах виявилось недостатньо.

Виконаємо ще кілька досліджень, збільшимо кількість поколінь, кількість точок обслуговування, та перевіримо дію параметру «мудрість гурту».

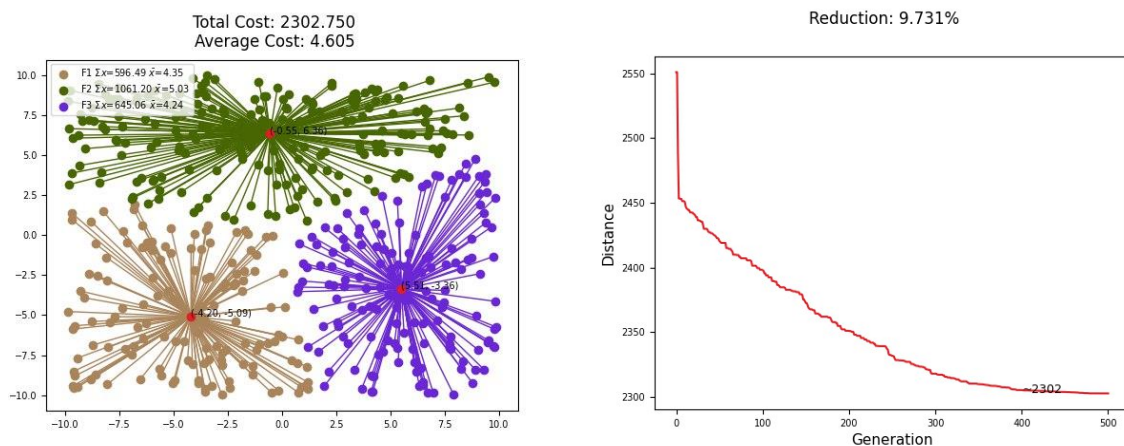


Рис. 7. (Розрахунок розміщення для 500 точок попиту, 500 поколінь)

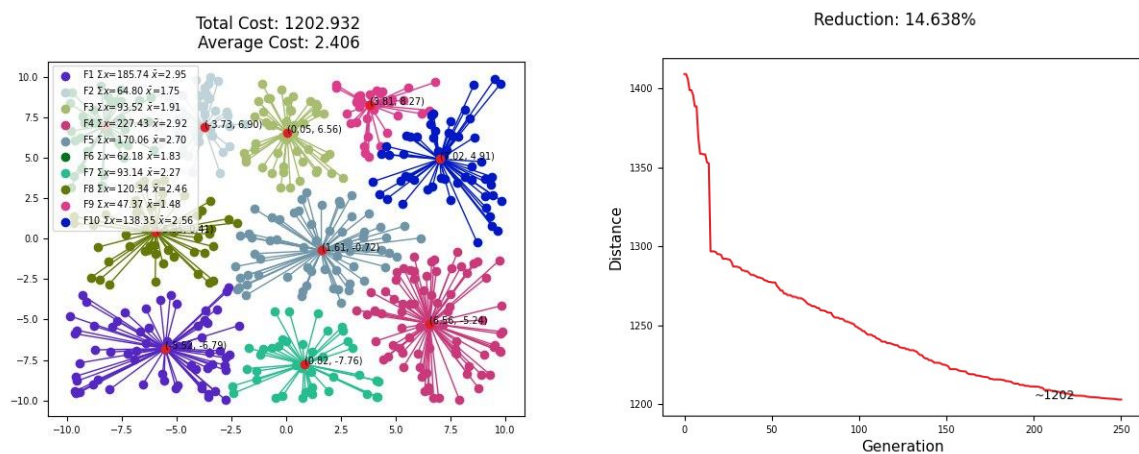


Рис. 8. (Розрахунок розміщення для 500 точок попиту, 10 точок обслуговування)

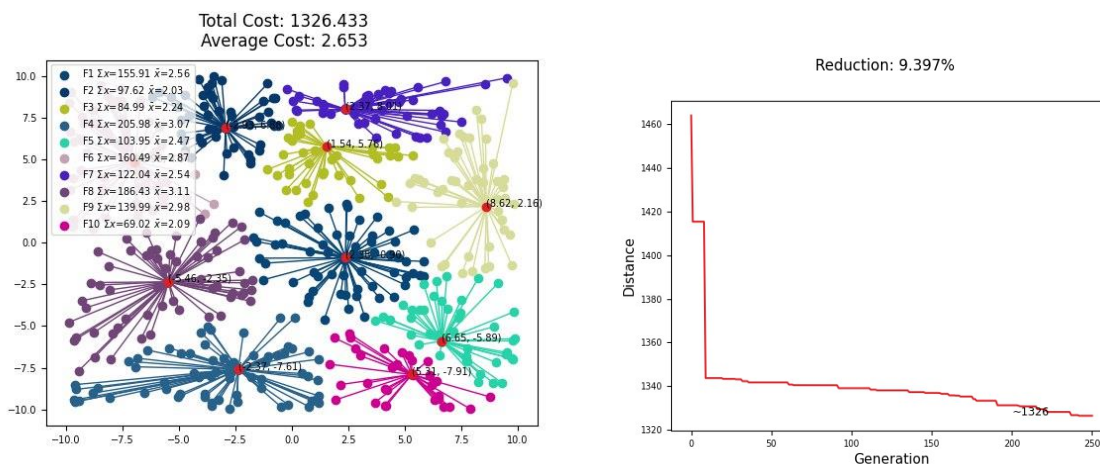


Рис. 9. (Розрахунок розміщення для 500 точок попиту, «мудрість гурту»)

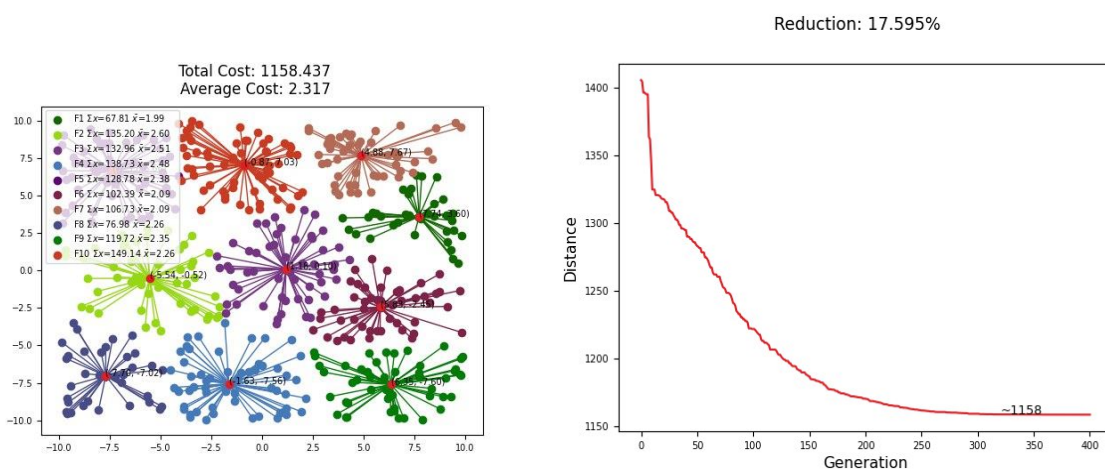


Рис. 10. (Розрахунок розміщення для 500 точок попиту 50 популяція, 40 відсотків мутації)

Як видно з графіків, якщо вмикати параметр «мудрість гурту», то алгоритм збігається набагато швидше, однак кінцевий результат гірший, тому, що потрапляє в локальний мінімум. Збільшення ж осіб в популяції та відсоток мутацій, отримуємо кращий кінцевий результат. Але збільшення кількості осіб, збільшує кількість розрахунків. Також було проведено розрахунки та отримані результати для більшої кількості точок попиту.

Висновки. Написано програму, яка дозволяє проводити числові експерименти. Після проведення практичного дослідження за допомогою розробленої програми було встановлено, що математична модель оптимального розміщення обладнання (FLP) досить зручна для пошуку оптимального розміщення пунктів обслуговування. Точний розв'язок задачі досить легко знайти лише при невеликій кількості точок попиту. Генетичні алгоритми можемо використовувати як метод для вирішення цієї моделі, коли потрібно отримати наближений результат за обмежений час.

Список бібліографічного опису

1. Логістика: Теорія та практика: Навч. посіб. / Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М., Соляник О.М.: Центр учбової літератури, 2010. 360 с.
2. Posawang, Pitiphoom & Phosaard, Satidchoke & Pattara-atikom, Wasan. (2010). Perception-Based Road Traffic Congestion Classification Using Neural Networks and Decision Tree. 10.1007/978-90-481-8776-8_21.
3. Hakimi, S. L. (1964). "Optimum Locations of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph". Operations Research. 12 (3): 450–459.
4. Kariv, O.; Hakimi, S. L. (December 1979). "An Algorithmic Approach to Network Location Problems. I: The p-Centers". SIAM Journal on Applied Mathematics. 37 (3): 513–538.
5. Gonzalez, Teofilo F. (1985). "Clustering to minimize the maximum intercluster distance". Theoretical Computer Science. 38: 293–306.
6. Dyer, M.E; Frieze, A.M (February 1985). "A simple heuristic for the p-centre problem". Operations Research Letters. 3 (6): 285–288.

7. Crosby, Jack L. Computer Simulation in Genetics (en). — London: John Wiley & Sons, 1973.
8. Fraser, Alex[en]; Donald Burnell. Computer Models in Genetics. — New York: McGraw-Hill Education, 1970.
9. Субботін С. О., Олійник А. О., Олійник О. О. Ітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і неймережних моделей: Монографія / Під заг. ред. С. О. Субботіна. — Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. — 375 с.
10. De Jong, K.A. Introduction to the second special issue on genetic algorithms. — Machine Learning — p. 351-353.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-20>

УДК 004.92

Курилко Максим Ігорович, бакалавр

<https://orcid.org/0009-0008-3054-7329>

Марченко Олександр Іванович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4537-3420>

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

АРХІТЕКТУРА ЕНКОДЕРА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СТИСНЕННЯ РАСТРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ФОРМАТ JPEG

Курилко М.І., Марченко О.І. Архітектура енкодера для оптимізації процесу стиснення растрових зображень у формат JPEG. У даній статті запропонована архітектура енкодера зображень у формат JPEG, яка дозволяє оптимізувати процес стиснення зображення, базується на ідеї модульності, використовує конвеєризцію, що дозволяє гнучко налаштовувати процес стиснення під використання доступних апаратних пристроїв для досягнення потрібних вимог по швидкодії та енергоспоживанню пристроїв обробки зображень, що розроблюються.

Ключові слова: стиснення зображень, JPEG енкодер, вбудовані системи, пристрої низького споживання, растрові зображення, апаратне прискорення.

Kurylko M., Marchenko O. Encoder architecture for optimization of raster images compression to the JPEG format. This article proposes an image encoder architecture to the JPEG format, which allows optimization of image compressing process, is based on the concept of modularity, utilizes pipelining, allowing flexible adjustment of the compression process to accommodate available hardware accelerations. This approach aims to meet specific performance and energy consumption requirements in image processing devices.

Keywords: image compression, JPEG encoder, embedded systems, low-power devices, raster graphics, hardware acceleration.

Постановка проблеми. При проектуванні пристроїв обробки зображень виникає необхідність вибору формату зображень та способу їх стиснення для збереження та передачі на інші пристрої. Від правильності такого вибору залежить не тільки якість представлення зображення, але і споживання енергії пристроєм, обсяг необхідної пам'яті та швидкість передачі зображень по мережі. Крім того, такий вибір впливає також на ціну остаточного програмно-апаратного рішення. Для досягнення низького енергоспоживання кінцевими пристроями, для обробки зображень важливо використовувати пристрої низького енергоспоживання (Low Power Devices – LPD), які знаходять застосування практично в усіх галузях виробництва та побуту. Наприклад, пристрої LPD використовуються для рішення задач створення та/або обробки растрових зображень в таких системах як метеостанції, системи відео/фото спостереження, дрони. Різноманіття задач, для рішення яких можуть використовуватися подібні пристрої LPD, і платформ, на базі яких можуть бути створені результуючі системи, а також обмеження на фізичні габарити та ціну пристроїв, призводять до необхідності як підлаштовувати апаратно-програмну базу стиснення зображень під кожну конкретну задачу, так і шукати компроміси між заданими характеристиками цих пристроїв. Вибір формату зображень, архітектури енкодера і способів стиснення зображень є критично важливими для оптимізації процесу стиснення та реалізації ефективних та надійно працюючих пристроїв обробки зображень. Тому розробка архітектури енкодера, яка дозволяє гнучко і оптимізовано підлаштовувати етапи стиснення зображення під задані критерії (швидкодія, енергоефективність, вартість) та використання потрібних апаратних пристроїв є актуальною задачею.

Термінологія.

DCT – Discrete Cosine Transform – вид перетворення Фур'є, що у контексті стиснення зображень дозволяє переходити від просторового до частотного представлення пікселів вхідного зображення.

RGB – колірна модель, у якій колір кодується градаціями складових трьох каналів: червоний, зелений та синій.

MCU – Minimum Coded Unit – ізольований сектор (зазвичай 8x8 пікселів) вхідного зображення, до якого застосовується DCT та деякі інші операції під час стиснення зображення JPEG кодеком.

SIMD – Single Instruction / Multiple Data – властивість процесора виконувати одну інструкцію для паралельної роботи з кількома елементами даних.

SoC – System on a Chip – електронна схема, що має складові та функції цілого пристрою (наприклад комп'ютера) та розміщена на одній інтегральній схемі.

DSP – Digital Signal Processor – спеціалізований мікропроцесор, призначений для цифрової обробки сигналів (зазвичай, у режимі реального часу).

FPGA – Field-Programmable Gate Array – програмована користувачем вентильна матриця.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Формат JPEG має наступні важливі властивості:

1. JPEG дозволяє досягти балансу між якістю зображення та розміром файлу завдяки методу стиснення з втратами, що дозволяє отримувати файл з меншим розміром при збереженні прийнятної якості зображення.

2. JPEG дозволяє гнучко налаштовувати параметри стиснення, такі як ступінь стиснення, таблиці кодування, параметри кольорових каналів та інші, що дає можливість оптимізувати стиснення зображення для конкретних потреб та вимог.

3. JPEG підтримується більшістю переглядачів зображень, веб-браузерів та операційних систем, що забезпечує широкі можливості для відображення та використання зображень.

4. JPEG підтримується добре відомим та широко використаним стандартом, який проходив ретельне тестування та оптимізацію протягом багатьох років, що гарантує його стабільність та надійність.

5. Існує багато інструментів, бібліотек та ресурсів, які спрощують роботу з форматом JPEG, що сприяє ефективній реалізації та адаптації алгоритмів стиснення для конкретних потреб.

6. Стандарт JPEG має міжнародний статус, що дозволяє використовувати його у різних додатках та сервісах без обмежень.

У роботі [1] описано і зроблено порівняння деяких архітектур побудови JPEG енкодерів. В цій статті пропонується варіант реалізації найшвидшого енкодера, але такі характеристики розробки, як ціна пристрою та енергоспоживання, залишаються поза межами розгляду в ній. У роботі [2] описаний спосіб реалізації DCT етапу стиснення на спеціалізованому SoC, проте спосіб комунікації із головним процесором та його програмна частина залишаються невизначеними. У роботі [3] міститься детальний опис всіх етапів JPEG стиснення, а також описані варіанти оптимізації кожного з етапів стиснення за допомогою використання DSP процесорів, проте в цій роботі не наведені отримані характеристики швидкодії та енергоспоживання. У роботах [4], [5], [6] описані варіанти побудови JPEG енкодерів, які базуються на використанні виключно FPGA, проте наведені в них результати практичних експериментів показують зависоке енергоспоживання таких пристроїв, що призводить до недоцільності використання такого підходу для розробки пристроїв та систем обробки зображень, де економне споживання енергії є ключовим критерієм.

Звідси витікає необхідність пошуку розробки нових архітектур JPEG енкодерів, які будуть ґрунтуватися на гібридних програмно-апаратних рішеннях з використанням LPD пристроїв, що дозволить знаходити компроміси при оптимізації процесу стиснення зображень за такими критеріями як швидкодія, вартість та енергоспоживання отриманих JPEG енкодерів.

Перед подальшим аналізом існуючих архітектур енкодерів розглянемо етапи кодування (стиснення) у форматі JPEG (рис. 1).

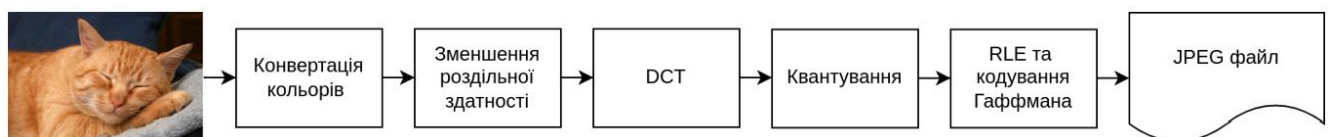


Рис. 1. Етапи кодування (стиснення) у форматі JPEG

Стандарт JPEG [7] регламентує послідовне використання кількох алгоритмів стиснення, приймаючи на вхід початкове растрове зображення (послідовний потік пікселів, де інформація про кожен піксель має фіксований розмір та формат). Стандарт JPEG також тісно пов'язаний із JFIF

стандартом [8][9], що регламентує структуру та формат вихідного файлу. На першому кроці, у разі необхідності, зображення перетворюється з RGB (червоний, зелений, синій) кольорового простору в YCbCr (YUV) кольорний простір, де Y відповідає за яскравість, а Cb та Cr за кольорові відтінки. Цей крок може бути пропущений, якщо кольоровий простір вхідного зображення співпадає з необхідним. Конвертація кольорів необхідна для виконання наступного кроку, на якому зменшується дискретизація (Downsampling) зображення. Оскільки людське око є недостатньо чутливим до всіх відтінків кольору, інформація про кольорові компоненти (Cb і Cr) може бути зменшена (відкинута деяка частина цієї інформації), що веде до зниження розміру даних без значних втрат візуальної якості. Зазвичай, Cb та Cr компоненти зменшуються вдвічі у порівнянні з вхідним зображенням. Наступним кроком для кожного з трьох кольорних каналів виконується DCT (Discrete Cosine Transform). Канал поділяється на блоки (зазвичай 8x8 пікселів), які називають MCU (мінімальна одиниця кодування) і на кожному з цих блоків застосовується перетворення, яке виконує перехід від просторового представлення даних про пікселі у частотне. Це дозволяє групувати інформацію про зображення та виділяти важливі частотні компоненти. Наступним кроком є квантування (Quantization). На цьому кроці визначається яка частотна інформація буде видалена, а яка буде залишена. Цей процес зменшує точність частотних коефіцієнтів, отриманих з DCT. Високочастотні коефіцієнти, як правило, зменшуються більше, ніж низькочастотні, оскільки зміни на високих частотах менш помітні для людського ока. Це один з ключових кроків, де відбувається відкидання певної частини даних, що і забезпечує власне стиснення зображення. Після квантування дані серіалізуються методом зигзагоподібного сканування блоків (це підвищує ефективність подальшого кодування) і потім стискаються за допомогою безвтратних алгоритмів стиснення, таких як RLE (Run-Length Encoding), який кодує послідовності однакових елементів як один елемент і його довжину, та кодування Гаффмана, яке присвоює коротші коди елементам, які зустрічаються частіше. Під час декодування зображення всі кроки виконуються у зворотному порядку.

Тепер, для кращого розуміння запропонованої нижче архітектури, розглянемо архітектури існуючих енкодерів (рис. 2).

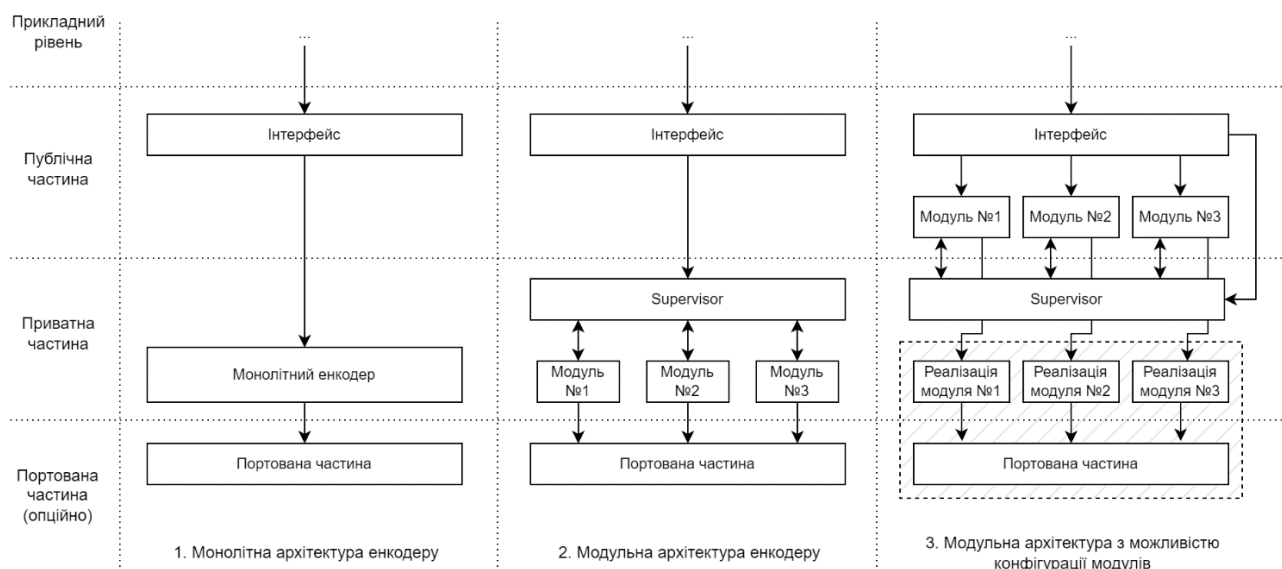


Рис. 2. Архітектури енкодерів

1. Енкодер з монолітною архітектурою. Таку архітектуру мають, як правило, старіші або більш прості енкодери, які є цілісними програмними рішеннями, що виконують всі кроки JPEG стиснення в одному модулі. Інтерфейс таких енкодерів надає доступ лише до високорівневих функцій керування та до базової конфігурації. Такі енкодери можуть бути швидшими за інші, оскільки мають тіснішу інтеграцію компонентів, але вони є менш гнучкими та їх важче підтримувати, розширювати та оптимізувати під конкретну платформу. Прикладами енкодерів із монолітною архітектурою є JPEGENC [10] та jpeg.cpp [11].

2. Енкодер з модульною архітектурою. Архітектура такого енкодера складається з множини модулів, кожен з яких виконує свою частину процесу кодування. Такі енкодери, як правило, мають також окремий модуль, що виконує функції супервайзера, який містить інформацію про поточний стан процесу стиснення, забезпечує міжмодульну взаємодію та може додатково проводити конвертацію даних до більш зручного для користувача представлення. Інтерфейс таких енкодерів надає доступ лише до високорівневих функцій без можливості конфігурації чи модифікації модулів. Прикладами енкодерів з модульною архітектурою є libjpeg [12] та turbo-jpeg [13].
3. Енкодер з модульною архітектурою і можливістю конфігурування модулів. Архітектура таких енкодерів також є модульною, але, на відміну від попередньої архітектури, дозволяє індивідуальну конфігурацію кожного модуля за допомогою публічного API. Така архітектура є найбільш гнучкою та може включати зміну параметрів кодування, повну заміну реалізації модулів (ця частина позначена на рисунку штрихованим заповненням), та навіть динамічне налаштування процесу кодування. Модуль-супервайзер, як і в попередньому випадку, відповідає за міжмодульну взаємодію.

В порівнянні з монолітною архітектурою, обидві модульні архітектури забезпечують більшу гнучкість і зручність для виконання оптимізації енкодера при переході на нову апаратну платформу, оскільки кожен модуль можна розробляти, тестувати та замінювати незалежно від інших. Крім того, модульна реалізація, як правило, не має значного впливу на швидкість енкодера та на обсяг необхідної для його роботи пам'яті. Зазначені вище властивості модульної архітектури з можливістю конфігурування модулів визначають її найкращу пристосованість до виконання оптимізації процесу стиснення зображення з орієнтацією на різні критерії оптимізації та використання різних апаратних пристроїв, зокрема LPD пристроїв.

Запропонована архітектура енкодера.

Запропонована архітектура (рис. 3) побудована за модульним принципом з можливістю конфігурації модулів за допомогою публічного API і відрізняється від існуючих використанням оптимізованого набору із 6 основних та 4 допоміжних модулів, має гнучку систему міжмодульної синхронізації та підтримує конвеєризацию виконання етапів кодування (стиснення). Кожен основний модуль приймає дані від попереднього модуля, виконує конкретний етап JPEG кодування та передає результат своєї роботи наступному.

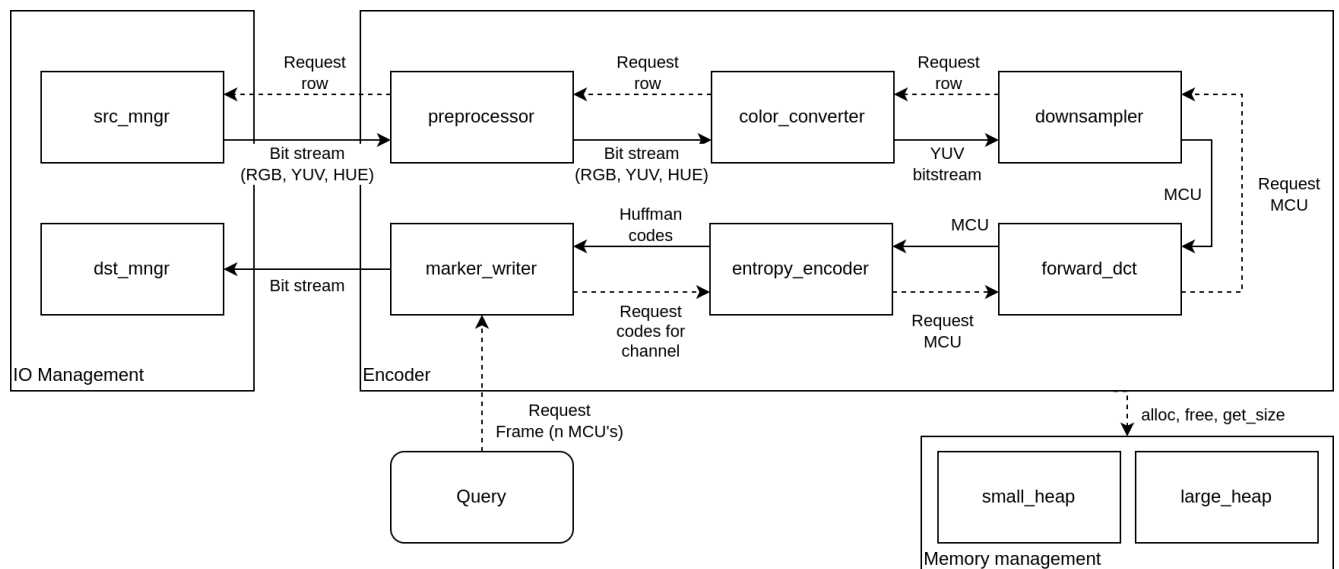


Рис. 3. Запропонована архітектура JPEG енкодера

- preprocessor – модуль, що виконує розрахунок або вибір коефіцієнтів для стиснення, зміну формату вхідних пікселів тощо;
- marker_writer – модуль, що виконує форматування вихідного файлу згідно з JFIF стандартом;

- `color_converter` – модуль, що виконує конвертацію кольорів із вхідного RGB колірного простору в YCbCr колірний простір;
- `downsampler` – модуль, що виконує зменшення розміру кольорових компонентів та поділ зображення на MCU;
- `forward_dct` – модуль, що виконує DCT над кожним MCU;
- `entropy_encoder` – модуль, що виконує квантування коефіцієнтів, кодування Гаффмана та кодування довжин серій нулів (RLE).

Призначення чотирьох додаткових модулів запропонованої архітектури:

- модулі `small_heap` та `large_heap` реалізують інтерфейс для всіх операцій виділення та переміщення пам'яті, що використовується поточним енкодером; `small_heap` використовується для операцій з пам'яттю менше 1 Кб, наприклад, операцій з локальними змінними модулів, хеш-таблицями, а `large_heap` використовується для операцій з пам'яттю більше 1 Кб, наприклад, операцій з буферами каналів, таблицями коефіцієнтів, тощо;
- модуль `src_mngr` використовується для доступу та позиціонування у вхідних даних та містить інформацію про кількість доступних байт для читання;
- модуль `dst_mngr` використовується для запису та позиціонування у вихідних даних, та містить інформацію про загальну кількість записаних даних та кількість байтів, що доступні для запису.

Розглянемо можливості виконання оптимізації процесу кодування (стиснення) зображень формату JPEG на основі запропонованої архітектури. Ця архітектура відрізняється від існуючих рішень, меншою кількістю та повною ізолюваністю модулів один від одного, оскільки взаємодія між ними відбувається тільки через модуль-супервайзер. Крім того, в цій архітектурі було вирішено об'єднати деякі етапи процесу JPEG кодування (наприклад, в модулях `downsampler` та `entropy_encoder`), на яких вирішуються підзадачі, що потребують щільної взаємодії між собою з передачею великої кількості даних між ними. Тому, реалізація цих підзадач окремими модулями виглядає недоцільною. Таким чином, запропонована архітектура, з однієї сторони, зменшує навантаження на модуль-супервайзер, оскільки модулів менше, а з другої сторони, має достатню кількість модулів для виконання оптимізації окремих етапів стиснення зображення незалежно від інших етапів.

Кожен модуль виконує покладені на нього функції процесу стиснення зображення або за запитом від наступного модулю, тобто виконується так-звана ланцюгова синхронізація між модулями, або без запитів у режимі реального часу. Наприклад, у разі використання ланцюгової синхронізації, ініціюючим сигналом модуля `marker_writer` буде запит від користувача на виконання деякої частини роботи по стисненню вхідного зображення. В режимі реального часу розподіл даних між модулями та контроль за нестачею або надлишком даних (`overrun`, `underrun`) виконує супервайзер, і використання цього режиму дозволяє будувати гнучкі системи із асинхронною роботою деяких модулів. Запропонована архітектура надає можливість організації роботи енкодера у режимі реального часу, чим відрізняється від існуючих, в яких пропонується лише ланцюгова синхронізація [12]. Крім того, в запропонованій реалізації є також можливість вказувати кількість піксельних рядків зображення, обробку яких потрібно виконати за один виклик функцій обробки, на відміну від існуючих рішень, в яких оброблюється тільки одразу все зображення в цілому [11].

Якщо при реалізації роботи модулів використовувати багатопоточність або декілька процесорів, то можна конвеєризувати процеси стиснення декількох зображень по етапах обробки. Конвеєризація дозволяє на кожному з етапів кодування починати обробку наступного зображення як тільки обробка попереднього зображення на цьому етапі буде закінчена, що значно прискорює процес стиснення зображень. Приклад такої конвеєризації обробки чотирьох зображень на різних етапах стиснення показаний на рис. 4.

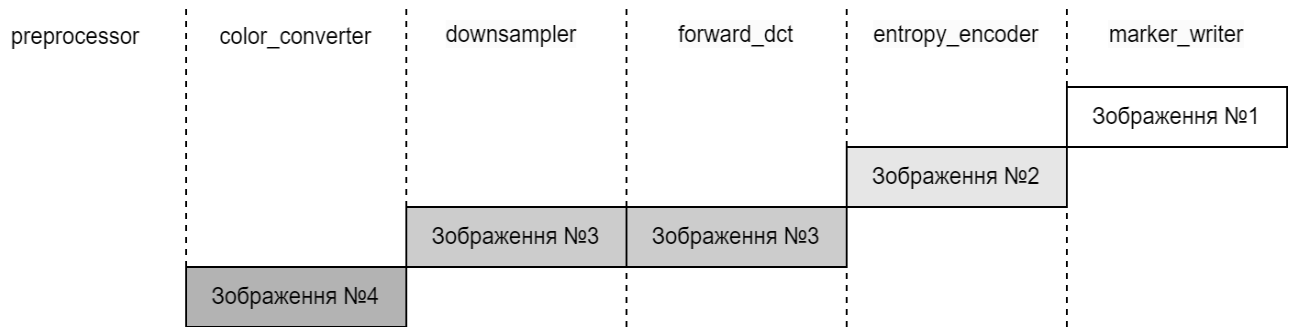


Рис. 4. Приклад конвеєризації стиснення декількох зображень

Оскільки в існуючих архітектурних рішеннях конвеєризація при стисненні одночасно декількох зображень не використовується, то можливість використання такої конвеєризації у запропонованій архітектурі є одним із потужних аспектів, які вона надає для оптимізації стиснення зображень порівняно з існуючими рішеннями.

Реалізація енкодера згідно із запропонованою архітектурою має також і найпростіший режим виконання процесу стиснення зображення, у якому всі модулі реалізовані програмно за класичними алгоритмами (наприклад, AAN для DCT [14]). Цей режим працює за умовчанням.

Висновки

Запропонована архітектура енкодера надає можливість розробнику реалізувати свої власні модулі замість стандартних модулів з метою оптимізації процесу стиснення растрових зображень у формат JPEG. Реалізація оптимізованих модулів може бути як чисто програмною, так і на основі спеціалізованих апаратних пристроїв, в тому числі й пристроїв LPD, а також з використанням конвеєризації обробки декількох зображень на різних етапах процесу стиснення.

В рамках даної архітектури енкодера інтеграція апаратних пристроїв відбувається досить легко та швидко, що забезпечує гарний рівень оптимізації кінцевого пристрою, в якому виконується обробка зображень, за необхідним співвідношенням показників швидкості кодування, енергоспоживання та вартості отриманого пристрою. Зокрема, якщо основним критерієм оптимізації є енергоспоживання, то на таких етапах стиснення, як дискретне косинусне перетворення або конвертація кольорів, доцільно використовувати пристрої LPD. Ще однією важливою властивістю запропонованої архітектури є те, що завдяки можливості гнучкого конфігурування через публічний API, вона дозволяє простіше виконувати роботу з різними версіями проекту, надає можливість виправляти помилки одразу для всіх проектів та підвищує переносимість проектів, оскільки API залишається загальним для всіх проектів. Крім того, використання такої архітектури зменшує загальний обсяг виконуваної роботи та знижує рівень кваліфікації розробників, який є необхідним для виконання оптимізації процесу стиснення зображення, оскільки модуль-супервайзер може виконувати значну кількість допоміжної роботи, такої як конвертація даних, розподілення задач, кешування, фокусуючи увагу розробників саме на процесі оптимізації.

Список бібліографічного опису

1. Kazuo Sakiyama. Finding the best System Design Flow for a High-Speed JPEG Encoder [Електронний ресурс] / Kazuo Sakiyama, Patrick R. Schaumont, Ingrid M. Verbauwhede. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: <https://web.archive.org/web/20170705130129/http://www.seas.ucla.edu/%7EIngrid/Publications/2003aspdac.pdf>
2. Bryan Chan Jia Ching. Implementation of an 8x8 Discrete Cosine Transform on Programmable System-on-chip [Електронний ресурс] / Bryan Chan Jia Ching, Ab Al-Hadi Ab Rahman, Nabihah Ahmad. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1049/1/012084/pdf>
3. Mikael Andersson. Parallel JPEG Processing with a Hardware Accelerated DSP Processor [Електронний ресурс] / Mikael Andersson, Per Karlström. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:19951/FULLTEXT01.pdf>
4. Tian-Yang Li. An FPGA-based JPEG preprocessing accelerator for imageclassification [Електронний ресурс] / Tian-Yang Li, Fan Zhang, Wei Guo, Jian-Liang Shen, Ming-Qian Sun. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/tje2.12174>
5. Scavongelli C. FPGA implementation of JPEG encoder architectures for wireless networks [Електронний ресурс] / C. Scavongelli, M. Conti. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://jes-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1186/s13639-016-0047-5>

6. George Gabriel Kyrtasak. An FPGA Implementation of a Custom JPEG Image Decoder SoC Module [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=6947&context=etd>
7. ISO/IEC 10918-1:1994 - Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines. [Електронний ресурс] – 1994. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iso.org/standard/18902.html>
8. Eric Hamilton. JPEG File Interchange Format. Version 1.02 [Електронний ресурс]. – 1992. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.w3.org/Graphics/JPEG/jfif3.pdf>
9. ISO/IEC 10918-5:2013 - Digital compression and coding of continuous-tone still images: JPEG File Interchange Format (JFIF). [Електронний ресурс] – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iso.org/ru/standard/54989.html>
10. Larry Bank. Arduino JPEG encoder [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/bitbank2/JPEGENC>
11. Rich Geldreich. C++ JPEG compression/fuzzed low-RAM JPEG decompression codec [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://github.com/richgel999/jpeg-compressor>
12. libjpeg веб-сайт [Електронний ресурс]. – 1991. – Режим доступу до ресурсу: <https://libjpeg.sourceforge.net/>
13. libjpeg-turbo веб-сайт [Електронний ресурс]. – 2009. – Режим доступу до ресурсу: <https://libjpeg-turbo.org/>
14. Yukihiro Arai. A Fast DCT-SQ Scheme for Images / Yukihiro Arai, Takeshi Agui and Masayuki Nakajima. IEICE TRANSACTIONS. – 1988. Vol. E7. No. 11. – с. 1095-1097.

References

1. Kazuo Sakiyama, Patrick R. Schaumont and Ingrid M. Verbauwhede. *Finding the best System Design Flow for a High-Speed JPEG Encoder*. 2003. – Available at: <https://web.archive.org/web/20170705130129/http://www.seas.ucla.edu/%7Eingrid/Publications/2003aspdac.pdf> [Accessed 1 Dec. 2023].
2. Bryan Chan Jia Ching, Ab Al-Hadi Ab Rahman and Nabihah Ahmad. *Implementation of an 8x8 Discrete Cosine Transform on Programmable System-on-chip*. 2018. – Available at: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1049/1/012084/pdf> [Accessed 1 Dec. 2023].
3. Andersson, M. (2004). *Parallel JPEG Processing with a Hardware Accelerated DSP Processor Examensarbete utfört i Datorteknik vid Tekniska Högskolan i Linköping av*. [online] Available at: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:19951/FULLTEXT01.pdf> [Accessed 1 Dec. 2023].
4. Li, T., Zhang, F., Guo, W., Shen, J. and Sun, M. An FPGA-based JPEG preprocessing accelerator for image classification. *The Journal of Engineering*, 2022(9), pp.919–927. – Available at: doi:<https://doi.org/10.1049/tje2.12174> [Accessed 1 Dec. 2023].
5. Cristiano Scavongelli and Conti, M. FPGA implementation of JPEG encoder architectures for wireless networks. *EURASIP Journal on Embedded Systems*, 2017(1). – Available at: doi:<https://doi.org/10.1186/s13639-016-0047-5> [Accessed 1 Dec. 2023].
6. Kyrtasak, G. *An FPGA Implementation of a Custom JPEG Image Decoder SoC An FPGA Implementation of a Custom JPEG Image Decoder SoC Module Module*. 2017. – Available at: <https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=6947&context=etd> [Accessed 1 Dec. 2023].
7. ISO/IEC 10918-1:1994. ISO. Available at: <https://www.iso.org/standard/18902.html> [Accessed 1 Dec. 2023].
8. Hamilton, E. *JPEG File Interchange Format*. 1992. – Available at: <https://www.w3.org/Graphics/JPEG/jfif3.pdf> [Accessed 1 Dec. 2023].
9. ISO/IEC 10918-5:2013. ISO. Available at: <https://www.iso.org/ru/standard/54989.html> [Accessed 1 Dec. 2023].
10. Bank, L. *bitbank2/JPEGENC*. GitHub. 2023. – Available at: <https://github.com/bitbank2/JPEGENC> [Accessed 1 Dec. 2023].
11. Geldreich, R. *jpeg-compressor*. GitHub. 2023. – Available at: <https://github.com/richgel999/jpeg-compressor> [Accessed 1 Dec. 2023].
12. libjpeg.sourceforge.net. (n.d.). *libjpeg*. – Available at: <https://libjpeg.sourceforge.net/> [Accessed 1 Dec. 2023].
13. libjpeg-turbo.org. (n.d.). *libjpeg-turbo*. – Available at: <https://libjpeg-turbo.org/> [Accessed 1 Dec. 2023].
14. Yukihiro Arai. A Fast DCT-SQ Scheme for Images / Yukihiro Arai, Takeshi Agui and Masayuki Nakajima. IEICE TRANSACTIONS. – 1988. Vol. E7. No. 11. – pp. 1095-1097.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-21>

УДК 004.023

Манжула Ксенія Олександрівна, аспірант

<https://orcid.org/0009-0007-4819-3031>

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

ЙМОВІРНІСНИЙ АНАЛІЗ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ СТУДЕНТА НА ОСНОВІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ

Манжула К.О. Ймовірнісний аналіз компетентностей студента на основі компетентнісного підходу. Метою написання даної статті є аналіз можливості проведення ймовірнісного аналізу компетенцій студента на основі даних його успішності (без проведення фактичної співбесіди), та, відповідно, представлення авторського методу для проведення даного аналізу, практична цінність якого також розглядається у даній статті. Для цього у статті аналізується існуючий на сьогоднішній день компетентнісний підхід до навчання, саме поняття «компетентність» у різних сферах людської діяльності, та існуючі методи визначення рівню компетентності як школярів, так і студентів та спеціалістів різних галузей. Із визначень поняття «Компетентність», які наводяться у статті, автором обирається опірне, на основі якого базується запропонований для розгляду метод. Аналіз існуючих на сьогоднішній день методів визначення компетентності дає змогу зробити висновок про їх загальний недолік – необхідність проведення усної співбесіди у тій чи іншій формі. Після чого, автор пропонує до розгляду та аналізу новий метод визначення рівню засвоєння компетентностей студентами на основі їх даних успішності, що має евристичний характер – надається опис основних компонентів методу, та опис взаємозв'язків між цими компонентами. У якості основи пропонуємого методу автор передбачає комбінацію основ статистики та теорії нечітких множин. Для запропонованого методу наводиться доказ його працездатності у вигляді детального та покрокового виконання завдання оцінки рівню опанування конкретним набором компетентностей абстрактного студента, що використовує готовий набір даних успішності даного студента, що був сформований автоматично у випадковому форматі. Результатом виконання поставленого завдання із використанням пропонуємого методу є ймовірнісні висновки у вигляді числових показників. Дані висновки дають змогу зробити загальний висновок про те, що сам процес оцінки компетентності студента може не залежати від можливості проведення усної співбесіди (на чому базуються всі існуючі методи. Таким чином, використання запропонованого автором методу у комбінації із існуючими методами (що базуються на проведенні усної співбесіди), сприяє підвищенню рівню оцінки вищими навчальними закладами стану формування компетентностей (актуальних для ринку праці на момент оцінки) у студентів, а отже і дає змогу більш гнучко формувати навчальні програми, що позитивно сприятиме на зниження рівню безробіття в Україні.

Ключові слова: компетентність, компетентнісний підхід, метод оцінювання, статистика, нечітні множини, нечіткі запити

Manzhula K. Probabilistic analysis of student's competencies based on the competence approach. The purpose of this article is to analyze the possibility of conducting a probabilistic analysis of student competencies based on their academic performance data (without conducting an actual interview), and, accordingly, to present the author's method for conducting this analysis, the practical value of which is also considered in this article. To this end, the article analyzes the current competency-based approach to learning, the concept of "competence" in various fields of human activity, and the existing methods for determining the level of competence of both schoolchildren and students and specialists in various fields. From the definitions of the concept of "competence" given in the article, the author chooses the most important one, on which the method proposed for consideration is based. The analysis of the currently existing methods for determining competence allows the author to conclude that they have a common drawback - the need to conduct an oral interview in one form or another. After that, the author proposes for consideration and analysis a new method for determining the level of students' competencies based on their performance data, which has a heuristic character - a description of the main components of the method and a description of the relationships between these components are provided. For the proposed method, the author provides a proof of its efficiency in the form of a detailed and step-by-step solution to the task of assessing the level of mastery of a specific set of abstract student's competencies using a ready-made set of data on the student's academic performance, which was generated automatically in a random format. The result of the task using the proposed method is probabilistic conclusions in the form of numerical indicators. These findings make it possible to draw a general conclusion that the process of assessing a student's competence may not depend on the possibility of conducting an oral interview (which is the basis of all existing methods). Thus, the use of the method proposed by the author in combination with existing methods (based on an oral interview) contributes to an increase in the level of assessment by higher education institutions of the state of formation of competencies (relevant to the labor market at the time of assessment) of students, and therefore allows for more flexible curriculum development, which will positively contribute to reducing unemployment in Ukraine.

Keywords: competence, competence-based approach, assessment method, statistics, fuzzy sets, fuzzy queries

Вступ.

На сьогоднішній день, основою світового економічного середовища виступає ринок праці. У свою чергу, основою ринку праці являються спеціалісти, що здатні якісно вирішувати певне коло задач своєї спеціальності. Таким чином, можна стверджувати, що головною характеристикою кожного спеціаліста є його компетентність.

Однак, дослідження статистики ринку праці дає змогу стверджувати, що існує реальна проблема – процент безробіття у всьому світі показує тенденцію к збільшенню. У якості однією з причин такої тенденції у даній статті розглядається неможливість працедавця із тих чи інших причин отримати

інформацію про рівень компетентності спеціаліста із причини неможливості проведення усної співбесіди, оскільки саме на співбесіді базуються більшість відомих методів оцінки компетентності.

У рамках даного дослідження проводиться аналіз однієї із причин, яка так само є проблемою, проблеми безробіття, аналізується існуючий метод вирішення даної проблеми. На основі аналізу, надається до розгляду авторський метод ймовірнісного аналізу рівню компетентності студента, можливість використання якого доводиться методом демонстрації на реальному прикладі.

Постановка проблеми.

Компетентність – це поняття, яке має абстрактний характер, оскільки кожний працедавець сам визначає, наскільки спеціаліст компетентний, і ці оцінки у різних працедавців із великою ймовірністю можуть не співпадати.

Дослідження показали, що існує багато методів, що дають змогу визначити рівень компетентності спеціаліста. Спільною рисою даних методів є те, що вони базуються на усній співбесіді, чи будь-якій іншій активності, яка є різновидом співбесіди.

Досвід останніх років показав, що не завжди у працедавця є можливість провести усну співбесіду. Через певні обставини, усна співбесіда неможлива, що призводить до того, що працедавець втрачає потенційного спеціаліста, а спеціаліст, у свою чергу, ризикує, через незалежні від нього обставини, не отримати робоче місце, і таким чином підвищити відсоток безробіття, що в останні роки, як показує статистика, у всьому світі лише збільшується.

Через це, практично всі існуючі методи визначення компетентності спеціаліста втрачають свою актуальність. Із цієї причини існує необхідність у формуванні нових методів, які б дали змогу працедавцям отримувати первинну інформацію про стан компетентності спеціалістів, і які б повністю виключали фактор усної співбесіди. Таким чином, нові методи будуть забезпечувати потенціальних працедавців інформацією, на основі якої можна було б виносити рішення щодо спеціалістів.

Аналіз останніх досліджень.

Однією з найбільш вагомих та першорядних проблем людства, що мають міжнародний характер, є безробіття. За статистикою, наведеною О.Топчієм у своїй роботі [1], глобальний рівень зайнятості у світі у 2023 році, відповідно до припущень експертів ООН, зменшиться до 1%, в той час як у 2022 році даний показник становив 2.3%. Дані припущення підтвердилися – коротка статистика, що зібрана із різних джерел [2-5], та підтверджує це припущення, наведена у таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльна статистика безробіття

Територія	Показник безробіття за 2023 рік (%)	Показник безробіття за 2022 рік (%)
Україна	26	10.6
США	4.6	3.7
Європа	6.5	6.2

Дослідження самої сутності та проблеми безробіття було проведено ще у [6-8], та, на основі результатів цього дослідження, доказано, що дана проблема є актуальною і на сьогоднішній день, оскільки, як видно із таблиці вище, показники безробіття лише збільшилися у порівнянні із 2022 роком. При чому важливо зазначити, що Л. Лук'янова та Я. Яковленко у своїх роботах [9-10], проаналізувавши статистику за 2009-2013 роки, та роботи вітчизняних науковців, роблять висновок, що понад 40% серед безробітних становили особи віком від 15 до 29 років. Як показує статистика, ситуація з безробіттям серед молоді в Україні у 2023 році, так само як і у 2013 році, являється критичною.

Найбільш розповсюдженими причинами безробіття, на думку авторів [7-10] є добровільне звільнення, спад виробництва на підприємствах та зниження популярності професії (тобто, попиту на них). Однак, автор у [6] до цих причин додає ще одну – застаріла система освіти: “Як результат, В Україні існує надлишок спеціалістів одних професій та дефіцит інших. Вирішенням цієї проблеми може стати отримання додаткової освіти та перекваліфікація тимчасово безробітних. А також оновлення програм вищої та середньої освіти.”

Теорія застарілості сучасної освітньої системи знаходить своє відображення у роботах [11-13]. Всі вони, якщо узагальнити, зводяться до єдиної думки: сучасна школа повинна приділяти увагу не стільки знанням, скільки навчанню майбутніх спеціалістів принципам отримання та опанування знань, а також виховувати компетентності.

Відповіддю на питання “застарілості” прийнято вважати концепцію “компетентнісного підходу” до навчання. Суть даної концепції, відповідно до [14-16], полягає у динамічному поєднанні знань,

умінь та цінностей. У своїй стандартній формі, навчання, якщо узагальнювати, базується на наступній схемі: введення в тему – основна інформація – практичне застосування. Навчання, що базується на компетентнісному підході, базується на інтерактивному та діяльнісному аспектах, що передбачають надання багаторазової можливості учням самим отримати відповідь на поставлене питання. Під питанням мається на увазі саме проблемне питання чи проблемна ситуація, для вирішення якого/якої школяру необхідно проявити свої здібності до пошуку інформації, виведення нової інформації на основі вже існуючої (логічне мислення) та до адаптації. Важливо зазначити, що "інтерактивність" не означає, що не приділяються увага теоретичній базі.

Компетентнісний підхід у навчанні можна реалізувати практично у бідь-якій галузі освіти, однак простіше та ефективніше всього, як стверджується у [14-15], зробити це у початковій школі. Вже середня та старша школа потребують впровадження сучасних технологій для реалізації підходу. Те саме стосується і вищої освіти (коледж і далі).

Основою даного підходу є таке поняття як "Компетентність". Існує багато визначень даного поняття. Деякі з них представлені у таблиці 2.

Таблиця 2. Перелік визначень терміну «Компетентність»

№	Визначення	Джерело
1	Це здатність співробітника застосовувати на практиці набуті знання і вміння в своїй сфері та на займаній позиції, коли ситуація вимагає його експертного втручання.	[17]
2	Динамічна комбінація знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, цінностей, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно соціалізуватися, провадити професійну та/або подальшу навчальну діяльність.	[18]
3	Замовлення суспільства на підготовку його громадян, такий перелік багато в чому визначається узгодженою позицією соціуму в певній країні або регіоні.	[19]
4	Обізнаність, поінформованість, авторитетність.	[20]
5	Оцінка досягнення (або недосягнення) певної норми, досягнення якої може свідчити про можливість правильного вирішення якого-небудь завдання.	[21]
6	Здатність людини ефективно діяти в професійній та/або особистісній сферах життя.	[22]
7	Здатність мобілізувати всі отримані знання і застосовувати їх за призначенням.	[23]
8	Competence means that you have the ability to do something well.	[24]
9	The quality or state of having sufficient knowledge, judgment, skill, or strength (as for a particular duty or in a particular respect)	[25]
10	Is defined as the capacity to respond to individual, or societal, demands in order to perform an activity or complete a given task.	[26]

Як можна побачити із таблиці вище, поняття «Компетентність» є слабо-визначеним (мається на увазі те, що нема конкретного та єдиного визначення) поняттям. Точніше кажучи, значення даного терміну вар'юється в залежності від середи та поставленої задачі. У даному дослідженні буде використовуватися перше з представлених у таблиці вище можливих визначень, оскільки воно, на думку автора, має високий степінь ясності та загальності одночасно.

Одним із головних питань, що пов'язують із компетенціями, компетентністю та компетентнісним підходом, є питання оцінки тієї чи іншої компетентності отримувача освіти, або просто особи. Найбільш часто задіяні методи проведення оцінки [27-29] компетентності представлені у таблиці 3.

Таблиця 3. Методи проведення оцінки компетентності

№	Метод
1	Експертна оцінка
2	Самооцінка
3	Аналіз текстів
4	Тестування

5	Шкали
6	Інтерв'ю
7	Рольові ігри та моделювання
8	Спостереження
9	Дебати
10	Презентації
11	Творчі методи

Проблема питання оцінки компетентності полягає саме у неточності поняття «Компетентність» - оцінювання неточних, слабко-визначених понять завжди несе у собі фактор та, одночасно, ризик суб'єктивності, оскільки оцінювання, частіше всього, залежить від власної думки оцінюючого.

Мета

Із причин, зазначених вище, існує необхідність розробки нового методу оцінки компетентності особи, який би максимально мінімізував фактор суб'єктивності по відношенню до суб'єкту оцінки, тобто повністю, або майже повністю мінімізував людський фактор у процесі оцінки. При цьому важливо зазначити, що даний метод повинен бути незалежним від вже існуючих методів, та легко інтегруватися у вже існуючі методи. Основою даного методу повинен виступати компетентнісний підхід, описаний вище. Також, важливо зазначити, що дані, отримані на основі використання запропонованого у цій статті методу повинні мати ймовірнісний характер, оскільки без «живого» спілкування неможливо точно визначити рівень компетентності. Відповідно, метою даної роботи є аналіз та представлення нового методу оцінки компетентностей студентів на основі їх даних успішності, який із деякою ймовірністю може надати можливість зменшення рівню безробіття.

Основна частина.

У даній статті розглядається використання аспектів компетентнісного підходу для ймовірнісної оцінки компетентностей отримувачів вищої освіти, тобто студентів. Причина даного вибору суб'єктів оцінки полягає у тому, що, у загальному вигляді, схема взаємодії та взаємозв'язку вищих навчальних закладів (надалі ВНЗ) та ринку праці виглядає так, як це показано на рис. 1.

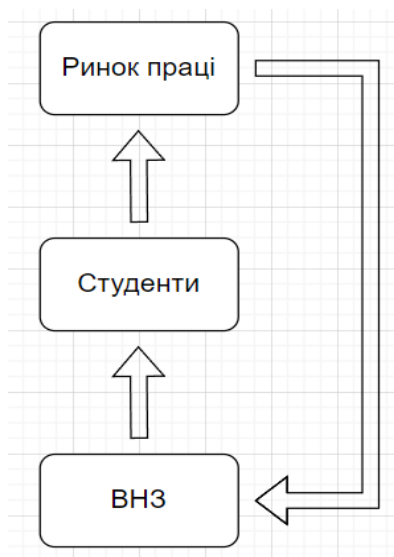


Рис. 1. Схема взаємодії / взаємозв'язку ринку праці на ВНЗ

Як можна побачити із рисунку вище, ВНЗ готують студентів по певним навчальним програмам, а студенти стають спеціалістами, що повинні задовольнити потреби ринку праці. У свою чергу, ринок праці надає інформацію ВНЗ про актуальні потреби та тенденції, що дає можливість ВНЗ корегувати свої навчальні програми із метою відповідності потребам ринку.

Із всього вищезазначеного можна зробити висновок, що до зазначених вище вимог до нового методу ймовірнісної оцінки компетентностей необхідно додати вимогу «Загальність» або «Універсальність», оскільки різні навчальні програми у різних ВНЗ виховують у отримувачів вищої освіти різні компетентності/компетенції, і розроблюваний метод оцінки повинен це враховувати.

Таким чином, запропонований автором метод оцінки компетентностей отримувача вищої освіти на основі компетентнісного підходу складається із компонентів, представлених на рис. 2.



Рис. 2. Компоненти запропонованого методу оцінки компетентностей

Під компетентностями мається на увазі список компетентностей, які ВНЗ, відповідно до потреб ринку праці та власних навчальних програм, здатні розвивати та оцінювати у отримувачів вищої освіти.

Під базою оцінювання мається на увазі те, на основі чого буде проводитися оцінка. Враховуючи, що метод повинен мінімізувати суб'єктивний фактор, на основі даного твердження, можна зробити наступний висновок – база оцінювання повинна мати числовий характер.

Під способом оцінювання мається на увазі спосіб обробки числових даних, згаданих вище (тобто, бази оцінювання) для отримання висновку про рівень тієї чи іншої компетентності отримувача вищої освіти.

Під способом представлення мається на увазі спосіб відображення отриманих раніше висновків у простій та зрозумілій формі. У якості такої форми може виступати як короткий текстовий висновок, так і діаграма.

Дана архітектура методу дозволяє забезпечити необхідний рівень загальності, що дозволить його використання у різних ВНЗ. Взаємозв'язок даних компонентів представлено на рис. 3.



Рис. 3. Взаємозв'язок компонентів нового методу

У випадку бази оцінки, найбільш простим та оптимальним у плані коштовності є використання даних успішності отримувачів вищої освіти, оскільки вони задовольняють умові чисельного типу бази, та у будь-якому випадку є результатом навчання отримувача вищої освіти, тобто є результатом розвитку тих чи інших компетентностей. У свою чергу, навчання у будь-якому випадку передбачає оцінювання, що у свою чергу передбачає отримання отримувачем вищої освіти оцінок, тобто поповнення бази оцінки. Отже, використання даних успішності (оцінок) відповідає схемі вище та не виходить за її межі.

Важливо зазначити, що використання даних успішності у якості бази оцінювання передбачає введення обмеження цих даних, а саме обмеження дисциплін.

Під обмеженням дисциплін мається на увазі використання лише тих даних успішності, які отримані отримувачем вищої освіти по дисциплінам, що мають відношення до компетентності, для якої проводиться оцінка. Наприклад, для компетентності «Знання ООП-принципу програмування» дисциплінами, що відносяться до даної компетентності є «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Основи програмування» та «Алгоритми та структури даних» - дані успішності (оцінки) саме з цих дисциплін можуть бути використані для оцінювання рівню оволодіння вищезазначеною компетентністю отримувача вищої освіти; у свою чергу, дані успішності за такі дисципліни як «Основи управління базами даних», «Філософія» чи «Фізичне виховання» можна використовувати для оцінки, однак вихідні результати у такому випадку будуть мати дуже малий степінь об'єктивності, а отже будуть непридатними для подальшого використання.

У контексті пропонуємого методу, автор розглядає види даних успішності (оцінок), представлені у таблиці 4.

Таблиця 4. Види даних успішності (оцінок)

№	Тип оцінки	Приналежність
1	За лекцію	Поточна успішність
2	За лабораторну роботу	Поточна успішність
3	За практичну роботу	Поточна успішність
4	За модульну контрольну роботу	Контрольна успішність
5	За залік	Контрольна успішність
6	За екзамен	Контрольна успішність
7	За домашнє завдання	Поточна успішність
8	За курсову роботу	Контрольна успішність
9	За навчальну практику	Контрольна успішність
10	За виробничу практику	Контрольна успішність
11	За переддипломну практику	Контрольна успішність

Як можна побачити із таблиці вище, автор виділяє 11 видів даних успішності та розділяє їх на дві групи: групу поточної успішності та групу контрольної успішності.

Даний розподіл введено автором через різний характер самих виділених видів успішності. Аналіз компетентності неможливо проводити лише на основі або поточної, або контрольної успішності – результати аналізу у такому випадку будуть ймовірно представляти реальну інформацію лише наполовину, а отже будуть вважатися некоректними. Водночас, проведення аналізу та оцінювання рівню компетентності на невпорядкованих (нерозділених) даних призводить до неточних, а отже некоректних вихідних даних. Таким чином, коректним та доцільним у такому випадку є паралельний аналіз та розрахунок рівню компетентності на основі як поточної, так і контрольної успішності. Необхідність урахування обох цих видів успішності також обумовлюється наступним твердженням: поточна успішність показує те, як швидко та точно отримувач вищої освіти здатний сприймати та освоювати нові знання; контрольна успішність показує те, як ефективно отримувач вищої освіти здатний використовувати отримані під час навчання знання та навички.

Вибір способу оцінки у даному методі є ключовим аспектом, та, одночасно, найбільш складним. Складність даного етапу полягає в універсальності поняття «компетентність». Під універсальністю у даному випадку мається на увазі те, що компетентність для кожного визначається по-своєму, не існує конкретної та універсальної відповіді на питання «Який спеціаліст є компетентним у той чи іншій області?» а також не існує конкретних шкал вимірювання. Зауважимо, що складність даного питання загострюється тим, що спосіб оцінки на виході повинен видавати конкретне число чи набір чисел.

У якості одного із можливих рішень даної проблеми пропонується використання нечітких запитів, що базуються на теорії нечітких множин Заде. Причина даного рішення полягає саме у тому, що дані запити базуються на роботі з нечіткими значеннями та множинами значень, та дозволяє робити ймовірнісні висновки про відповідність деяких вхідних даних тим чи іншим нечітким групам.

Суть даного рішення полягає у наступному [30]:

1. Формується деяке нечітке поняття (наприклад, "Досвід роботи") – це лінгвістична змінна;
2. Для даної змінної задається область визначення – числовий інтервал. У випадку досвіду роботи це може бути інтервал від 1 до 15 років.
3. Для визначеної раніше лінгвістичної змінної виділяється три лінгвістичні терми. Відповідно до змінної "Досвід роботи" лінгвістичними термами будуть: "Малий досвід", "Середній досвід" та "Великий досвід".
4. Обирається функція приналежності. Частіше всього, обирається трапецеїдальна функція приналежності (формула 1) із параметрами $[a, b, c, d]$ для кожного лінгвістичного терму. Параметри $[a, b, c, d]$ визначаються спеціалістами, та йдуть за зростанням.

$$MF_c(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x \notin (a, d) \end{cases} \quad (1)$$

5. За трапецеїдальною функцією приналежності визначається відповідність деякого значення до однієї з визначених раніше груп (лінгвістичних термів).

Із алгоритму вище видно, що для його коректної роботи необхідно мати деяке числове значення на вході. Однак, за умовами, базою оцінки є не одне конкретне значення, а набір значень, тобто успішність отримувача вищої освіти. Враховуючи те, що успішність була розділена на два типи, то ми матимемо два набори числових значень. Отже, існує необхідність у приведенні кожного із наборів до конкретних чисел, після чого дане число буде перевірятися методом нечітких запитів.

Із цією задачею пропонується звернутися до статистики, і використати такі поняття як «Варіаційний ряд» та «Генеральна середня варіаційного ряду». За допомогою списку успішності (як списку поточної успішності, так і списку контрольної успішності) отримувача вищої освіти можна сформувати варіаційні ряди для поточної та контрольної успішностей, після чого для кожного ряду можна знайти відповідну йому генеральну середню, яка слугує тим самим значенням, яке перевіряється на приналежність нечіткій множині.

Таким чином, алгоритм запропонованого способу оцінки наступний:

1. Отримуємо список дисциплін, що є першорядними та другорядними для аналізуємої компетентності;
2. Для кожної із знайдених дисциплін формуємо список поточної успішності;
3. Для кожної із знайдених дисциплін знаходимо список контрольної успішності;
4. Визначаємо нечітке поняття;
5. Знаходимо/розраховуємо варіаційний ряд поточної успішності;
6. Знаходимо/розраховуємо варіаційний ряд контрольної успішності;
7. Знаходимо/розраховуємо генеральну середню варіаційного ряду поточної успішності;
8. Знаходимо/розраховуємо генеральну середню варіаційного ряду контрольної успішності;
9. Визначаємо область визначення (числовий інтервал);
10. Визначаємо лінгвістичні терми;
11. Обираємо числові значення для функції приналежності;
12. Перевіряємо генеральну середню варіаційного ряду поточної успішності на відповідність визначеним раніше нечітким термам;
13. Перевіряємо генеральну середню варіаційного ряду контрольної успішності на відповідність визначеним раніше нечітким термам;
14. Виводимо результат у вигляді висновку та/або у вигляді діаграми.

Розглянемо реалізацію запропонованого методу ймовірнісної оцінки рівню компетентності отримувача вищої освіти на реальному прикладі.

Припустимо, що необхідно визначити рівень опанування студента Іванова І.І. компетентності «Створювання програмного забезпечення». Також, припустимо, що керівництво ВНЗ вже сформулоало список дисциплін, що сприяють опанування даної компетентності. Цей список представлений у таблиці 5.

Таблиця 5. Ключові для розвитку обраної компетентності дисципліни

Компетентність: Створювання програмного забезпечення	
№	Дисципліна
1	Основи програмної інженерії
2	Алгоритми та структури даних
3	Бази даних
4	Розробка ВЕБ-застосунків

Успішність студента Іванова І.І. із зазначених вище дисциплін представлена у таблиці 6.

Таблиця 6 – Список успішності (оцінок) студента Іванова І.І.

Оцінка	Дисципліна	Тип
80 (C)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
67 (D)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
82 (B)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
97 (A)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
89 (B)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
95 (A)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
83 (B)	Основи програмної інженерії	Лабораторна
95 (A)	Основи програмної інженерії	МКР
83 (B)	Основи програмної інженерії	МКР
89 (B)	Основи програмної інженерії	Домашнє завдання
98 (A)	Основи програмної інженерії	Курсова робота
73 (D)	Основи програмної інженерії	Екзамен
93 (A)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
70 (D)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
90 (A)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
94 (A)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
69 (D)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
99 (A)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
80 (C)	Алгоритми та структури даних	Лабораторна
65 (E)	Алгоритми та структури даних	МКР
87 (B)	Алгоритми та структури даних	МКР
98 (A)	Алгоритми та структури даних	Домашнє завдання
75 (C)	Алгоритми та структури даних	Курсова робота
82 (B)	Алгоритми та структури даних	Екзамен
77 (C)	Бази даних	Лабораторна
78 (C)	Бази даних	Лабораторна
85 (B)	Бази даних	Лабораторна
73 (D)	Бази даних	Лабораторна
76 (C)	Бази даних	Лабораторна
60 (E)	Бази даних	Лабораторна
89 (B)	Бази даних	Лабораторна
80 (C)	Бази даних	МКР
62 (E)	Бази даних	МКР
96 (A)	Бази даних	Домашнє завдання
73 (D)	Бази даних	Курсова робота
73 (D)	Бази даних	Екзамен

89 (B)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
90 (A)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
85 (B)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
73 (D)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
84 (B)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
80 (C)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
100 (A)	Розробка ВЕБ-застосувань	Лабораторна
92 (A)	Розробка ВЕБ-застосувань	МКР
71 (D)	Розробка ВЕБ-застосувань	МКР
79 (C)	Розробка ВЕБ-застосувань	Домашнє завдання
96 (A)	Розробка ВЕБ-застосувань	Курсова робота
80 (C)	Розробка ВЕБ-застосувань	Екзамен

Для наочності, всі дисципліни мають однакову кількість лабораторних, модульних контрольних робіт, мають домашнє завдання та курсову роботу, у якості форми контролю знань обрано екзамен. Оцінки сформовано автоматично, та представлено відповідно до таблиці ECTS. Також, види успішності виділено кольорами – поточна успішність виділена світло-блакитним кольором, а контрольна успішність виділена світло-жовтим кольором.

Розділимо представлене завдання на кроки:

1. Відповідно до теорії нечітких запитів, визначимо нечітке поняття. Оскільки ми працюємо із компетентностями, то нечітким поняттям є «Рівень компетентності». Раніше було сказано, що компетентність неможливо визначити через число напряду, однак для цього можна використати поняття із статистики. Таким чином, нечітке поняття «Рівень компетентності» приймає вид «Генеральна середня варіаційного ряду успішності». Також, візьмемо до уваги те, що успішність була розділена на дві групи (поточна та контрольна), а отже ми матимемо два нечітких поняття: «Генеральна середня варіаційного ряду поточної успішності» та «Генеральна середня варіаційного ряду контрольної успішності».

2. Формуємо на основі даних поточної успішності варіаційний ряд поточної успішності (таблиця 7):

Таблиця 7 – Варіаційний ряд поточної успішності студента Іванова І.І.

Варіанта(Xi)	Частота (Ni)	Варіанта(Xi)	Частота(Ni)	Варіанта(Xi)	Частота(Ni)
60	1	76	1	92	0
61	0	77	1	93	1
62	0	78	1	94	1
63	0	79	1	95	1
64	0	80	3	96	1
65	0	81	0	97	1
66	0	82	1	98	1
67	1	83	1	99	1
68	0	84	1	100	1
69	1	85	2		
70	1	86	0		
71	0	87	0		
72	0	88	0		
73	2	89	4		
74	0	90	2		

75	0	91	0		
----	---	----	---	--	--

3. Формуємо на основі даних контрольної успішності варіаційний ряд контрольної успішності (таблиця 8):

Таблиця 8 – Варіаційний ряд контрольної успішності студента Іванова І.І.

Варіанта(Xi)	Частота (Ni)	Варіанта(Xi)	Частота (Ni)	Варіанта(Xi)	Частота (Ni)
60	0	76	0	92	1
61	0	77	0	93	0
62	1	78	0	94	0
63	0	79	0	95	1
64	0	80	2	96	1
65	1	81	0	97	0
66	0	82	1	98	1
67	0	83	1	99	0
68	0	84	0	100	0
69	0	85	0		
70	0	86	0		
71	1	87	1		
72	0	88	0		
73	3	89	0		
74	0	90	0		
75	1	91	0		

4. Знаходимо генеральну середню варіаційного ряду поточної успішності (формула 2):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{32} x_i N_i}{\sum_{i=1}^{32} N_i} = \frac{60*1+61*0+62*0+...+100*1}{1+0+0+...+1} = \frac{2689}{32} = 84.03 \quad (2)$$

5. Знаходимо генеральну середню варіаційного ряду контрольної успішності (формула 3):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{32} x_i N_i}{\sum_{i=1}^{32} N_i} = \frac{60*0+61*0+62*1+...+100*0}{0+0+1+...+0} = \frac{1285}{16} = 80.03 \quad (3)$$

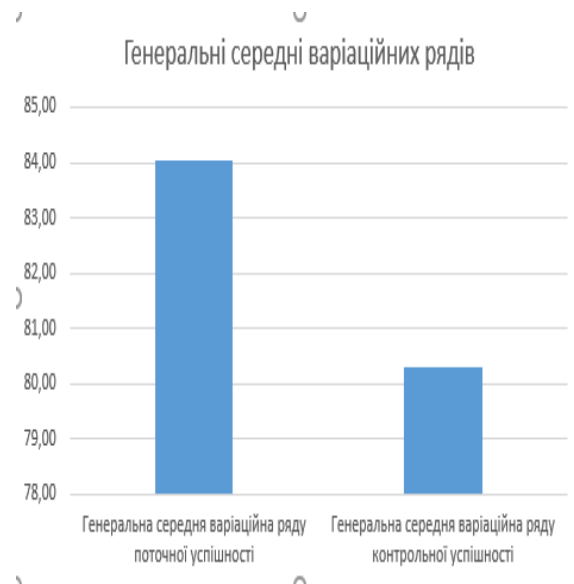


Рис. 4. Підраховані значення генеральних середніх варіаційних рядів

6. Для визначених раніше нечітких понять визначимо числовий інтервал. Оскільки ми працюємо з даними успішності, то доцільно використати шкалу ECTS, тобто виставити інтервал [60, 100].

7. Для визначених раніше нечітких понять визначаємо нечіткі терми: слабкий рівень, середній рівень, високий рівень.

8. Для визначених раніше нечітких термів визначимо числові значення [a, b, c, d] (інтервали, відповідно до трапецеїдальної функції приналежності):

- Слабкий рівень: [60.0, 65.0, 70.0, 75.0];
- Середній рівень: [75.0, 80.0, 83.0, 85.0];
- Високий рівень: [85.0, 90.0, 95.0, 100.0];

9. За представленою раніше формулою трапецеїдальної функції приналежності (формула 1), визначаємо приналежність генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності до кожного з термів.

Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності для лінгвістичного терму «Слабкий рівень» = 0, оскільки значення генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності не належить інтервалу [60.0, 65.0, 70.0, 75.0];

Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності для лінгвістичного терму «Середній рівень» = $1 - \frac{x-c}{d-c} = 1 - \frac{84.03-83.0}{85.0-83.0} = 0.48$ (4)

Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності для лінгвістичного терму «Високий рівень» = 0, оскільки значення генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності не належить інтервалу [85.0, 90.0, 95.0, 100.0];

10. Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду контрольної успішності для лінгвістичного терму «Слабкий рівень» = 0, оскільки значення генеральної середньої варіаційного ряду контрольної успішності не належить інтервалу [60.0, 65.0, 70.0, 75.0];

Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду контрольної успішності для лінгвістичного терму «Середній рівень» = 1, оскільки $80.0 \leq 80.03 \leq 83.0$;

Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду контрольної успішності для лінгвістичного терму «Високий рівень» = 0, оскільки значення генеральної середньої варіаційного ряду контрольної успішності не належить інтервалу [85.0, 90.0, 95.0, 100.0];

11. Отже, можна зробити наступні висновки щодо даного прикладу:

– Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду поточної успішності із деякою ймовірністю є середнім, а отже рівень опанування студентом Івановим І.І. компетентності «Створювання програмного забезпечення» із великою ймовірністю є середнім;

– Значення функції для генеральної середньої варіаційного ряду контрольної успішності із великою ймовірністю є середнім, а отже рівень опанування студентом Івановим І.І. компетентності «Створення програмного забезпечення» із великою ймовірністю є середнім.

Висновки

Дане дослідження було проведено із метою отримання відповідей на два загальних питання, друге із яких виходить із першого, а саме на питання можливості формування методу оцінювання рівню компетентностей отримувача вищої освіти на основі статистичних даних його/її успішності (без використання усного визначення), та на питання можливості використання сформованого раніше методу для зменшення фактору негативного впливу застарілих аспектів сучасної освітньої системи на рівень безробіття в Україні та світі у цілому, тобто можливості та перспективи сформованого методу зменшити даний рівень. У процесі дослідження було проведено аналіз поняття «Компетентність» та актуального на сьогоднішній день підходу у системі освіти – компетентнісного підходу. На основі вихідних даних дослідження автором було сформовано, проаналізовано та представлено до розгляду власний, орієнтований на використання ВНЗ, метод ймовірнісної оцінки компетентностей студентів, який базується на ключових аспектах компетентнісного підходу та базових елементах статистики.

Наостанок, для запропонованого методу було наведено та розглянуто реальний приклад із використанням випадкових вхідних даних.

Таким чином, було дано позитивну відповідь на перше загальне питання, оскільки метод був представлений, та було доведено його тестування на основі реальних вхідних даних.

Даний метод має високий ступінь простоти, гнучкості та низьку вартість реалізації, оскільки дозволяє ВНЗ самим визначати компетентності, а в якості бази оцінки виступають дані успішності. Дане твердження прийнято вважати за позитивну відповідь на друге загальне питання, оскільки розвиток вищими навчальними закладами у отримувачів вищої освіти актуальних для ринку праці компетентностей збільшує ймовірність того, що випускники зможуть одразу, або через короткий проміжок часу, знайти собі місце праці, що, у свою чергу, з великою ймовірністю може зменшити рівень безробіття.

Важливо розуміти, що даний метод не є заміною існуючим методам, а є додатковим інструментом визначення рівню оволодіння студентом тієї чи іншої компетентності.

Список бібліографічного опису

1. Топчий О. Експерти ООН погіршили прогноз щодо рівня зайнятості в світі на 2023 рік. Новини України - останні новини України сьогодні - УНІАН. URL: <https://www.unian.ua/economics/other/eksperti-onn-pogirshili-prognoz-shchodo-rivnya-zaynyatosti-v-sviti-na-2023-rik-12111564.html#:~:text=жорстка%20монетарна%20політика,Очікується,%20що%20в%202023%20році%20кількість%20безробітних%20у%20світі%20зросте,системи%20ООН,%20передає%20Reuters> (дата звернення: 17.07.2023).
2. Безробіття в Україні зростає під впливом економічних факторів та застарілої системи освіти - Baker Tilly. Baker Tilly. URL: <https://bakertilly.ua/id38625/> (дата звернення: 17.07.2023).
3. У Мінекономіки назвали причини безробіття українців (інфографіка). Новини України - останні новини України сьогодні - УНІАН. URL: <https://www.unian.ua/economics/finance/10765331-u-minekonomiki-nazvali-prichini-bezrobittya-ukrajinciv-infografika.html> (дата звернення: 17.07.2023).
4. Причини, види та показники безробіття. Pidru4niki. URL: https://pidru4niki.com/12800528/ekonomika/prichini_vidi_pokazniki_bezrobittya (дата звернення: 17.07.2023).
5. Лук'янова Л. БЕЗРОБІТТЯ ЯК СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ПРОБЛЕМА УКРАЇНИ ТА ШЛЯХИ ЇЇ РОЗВ'ЯЗАННЯ. Теорія і практика професійної майстерності в умовах цілежиттєвого навчання: монографія. 2016. Т. 2, № 17. С. 147–150. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/718419/1/8.pdf>.
6. Українська правда _Життя. Що не так з українською шкільною освітою. Українська правда _Життя. URL: <https://life.pravda.com.ua/columns/2018/09/12/233085/> (дата звернення: 17.07.2023).
7. Ukrinform. Система освіти в Україні не враховує викликів сьогодення - РНБО. Укрінформ - актуальні новини України та світу. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-society/3095681-sistema-osviti-v-ukraini-ne-vrahovue-viklikiv-sogodenna-rnbo.html> (дата звернення: 17.07.2023).
8. 24 Канал. Двомовне навчання і винахідливість: якою має бути сучасна шкільна програма в Україні. 24 Канал. URL: https://24tv.ua/education/navchannya-shkoli-yakoyu-maye-buti-suchasna-programa-ukrayini_n2270393 (дата звернення: 17.07.2023).
9. Що таке компетентнісний підхід у навчанні – відповідає Державна служба якості освіти. Нова українська школа | Веб-ресурс НУШ. URL: <https://nus.org.ua/questions/zo-take-kompetentnisnyj-pidhid-u-navchanni-vidpovidaye-derzhavna-sluzhba-yakosti-osvity/> (дата звернення: 17.07.2023).
10. Компетентнісне навчання: актуальні питання та виклики. Освітній портал™ - освіта в Україні, освіта за кордоном, ВНЗ, вчителі України, ЗНО. URL: <https://www.op.ua/news/osvita-v-ukraini/kompetentnisne-navchannya-aktualni-pitannya-ta-vikliki> (дата звернення: 17.07.2023).

11. Компетентнісне навчання – це актуально. Диво. 2012. Т. 1, № 6. С. 61–62. URL: <https://dyvoslovo.com.ua/wp-content/uploads/2016/03/18-612.pdf>.
12. Що таке компетентність? Визначення та типи. All-in-One human resources (HR) software - PeopleForce. URL: <https://peopleforce.io/uk/hr-glossary/competency> (дата звернення: 17.07.2023).
13. Компетентність - Глосарій. Онлайн-курс для вчителів початкових клас. Introduction - Зарубіжна література (5-9 класи) (Оновлено). URL: <https://edera.gitbook.io/glossary/zagalnii-oglyad/kompetentnosty> (дата звернення: 17.07.2023).
14. Ключові освітні компетентності. Освіта.UA. URL: <https://osvita.ua/school/method/2340/> (дата звернення: 17.07.2023).
15. Лейко С. В. Поняття «компетенція» та «компетентність»: теоретичний аналіз. Педагогіка. 2013. С. 128–133. URL: https://kulbabska.com/images/catalog/pdf/students/5_kurs/lejko_s_v.pdf.
16. Головань М. Компетенція і компетентність: досвід теорії, теорія досвіду. Наукові видання (ННІ БТ). 2017. С. 1–6. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/324272272.pdf>.
17. Поняття і види компетентностей. Головна сторінка. URL: <http://jds.multycourse.com.ua/ua/page/21/108> (дата звернення: 17.07.2023).
18. Що таке компетентність. Центральний Інформаційний Вісник. URL: <https://government.com.ua/nashi-hroshi/shcho-take-kompetentnist.html> (дата звернення: 17.07.2023).
19. Методи оцінювання компетентностей. ni.biz.ua - Навчальна Інформація для українських студентів. URL: http://www.ni.biz.ua/3/3_13/3_13932_metodi-otsenivaniya-kompetentnostey.html (дата звернення: 17.07.2023).
20. Базові принципи оцінювання. Головна сторінка. URL: http://jds.multycourse.com.ua/ua/print_page/module/27 (дата звернення: 17.07.2023).
21. Метод експертних оцінок. readbookz.net. URL: <https://readbookz.net/book/138/3969.html> (дата звернення: 28.08.2023).
22. Манжула К. О. Побудова запитів природньою мовою на базі теорії нечітких множин. Політ 2023 Сучасні проблеми науки. 2023. Т. 1, № 1. С. 59–60. URL: https://fccpi.nau.edu.ua/wp-content/uploads/2023/05/Polit_2023_FCSSE.pdf.

References

1. What is competence and why is it important? - global cognition. Global Cognition. URL: <https://www.globalcognition.org/what-is-competence/> (date of access: 17.07.2023).
2. Definition of COMPETENCE. Merriam-Webster: America's Most Trusted Dictionary. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/competence> (date of access: 17.07.2023).
3. What is competence | IGI global. IGI Global: International Academic Publisher. URL: <https://www.igi-global.com/dictionary/conceptual-framework-assessment-higher-education/4804> (date of access: 17.07.2023).
4. Yakovenko Y. Y., Yacenko H. Причини безробіття молоді в Україні. Менеджмент, маркетинг та управління персоналом. 2013. С. 143–146. URL: https://www.researchgate.net/publication/316915560_Pricini_bezrobitta_molodi_v_Ukraini.
5. Global finance magazine - unemployment rates around the world 2023. Global Finance Magazine. URL: <https://www.gfmag.com/global-data/economic-data/worlds-unemployment-rates> (date of access: 17.07.2023).
6. Euro area unemployment at 6.6%. Euarostat | euroindicators. 2023. Vol. 1, no. 37. P. 1–2. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/16324762/3-31032023-BP-EN.pdf/4cb7a93a-bb55-923d-ec95-5fcb8073271c>.
7. NBU forecasts unemployment in Ukraine to remain at around 26% in 2023. Interfax. URL: <https://interfax.com/newsroom/top-stories/87623/> (date of access: 17.07.2023).
8. Ukraine unemployment rate - 2023 data - 2024 forecast - 2003-2022 historical. TRADING ECONOMICS | 20 million INDICATORS FROM 196 COUNTRIES. URL: <https://tradingeconomics.com/ukraine/unemployment-rate> (date of access: 17.07.2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-22>

УДК: 004.42

Міскевич Оксана Іванівна, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-5009-2391>

Столенко Ігор Олексійович, бакалавр

Куліков Назар Олександрович, бакалавр

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ФРЕЙМВОРК TESTNG ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ НАПИСАННЯ ТЕСТІВ

Міскевич О.І., Столенко І.О., Куліков Н.О. Фреймворк testNG як інструмент для написання тестів. У даній статті розглянуто основні концепції, методології та техніки тестування для якості програмних продуктів та виявлення дефектів після перевірки програмного забезпечення. Адаптація правильного методу є необхідною до хорошого результату. Розробка автоматизованих тестів для тестування ПЗ на сьогодні є дуже актуальною та необхідною.

Поставлена задача вимагає вивчення: ключових питань тестування, класифікації видів тестування, вимог та фаз тестування, класів еквівалентності та основні види та стани тест-кейсів, які будемо розглядати в даній статті.

Розглянуто: основні атрибути Test Case; позитивні та негативні тест-кейси, які перевіряють дані та виняткові ситуації; високорівневі та низькорівневі тест-кейси і створення ефективних тестових кейсів. А також фреймворк TestNG, який допомагає написати тести на мові програмування Java.

Ключові слова: автоматизоване тестування, Test Case, Agile, Scrum, мануальне тестування, тестування інтерфейсу, testNG, Selenium.

Miskevych O., Stolenko I., Kulikov N. The testNG framework as a tool for writing tests. This article discusses the basic concepts, methodologies, and testing techniques for software product quality and defect detection after software verification. After all, choosing the right technique is a necessity for a good result. The development of automated tests for software testing is very relevant and necessary today.

The given task requires the study of: key issues of testing, classification of types of testing, requirements and phases of testing, equivalence classes and the main types and states of test cases, which will be considered in this article.

Considered: the main attributes of the Test Case; positive and negative test cases that test data and exceptional situations; high-level and low-level test cases and creating effective test cases. And also the TestNG framework, which helps to write tests in the Java programming language.

Keywords: automated testing, Test Case Agile, Scrum, manual testing, interface testing, testNG, Selenium.

Постановка проблеми.

Сучасний світ неможливо уявити без програмного забезпечення. Все, чим користується людина, від побутової техніки і автомобілів до смартфонів і комп'ютерів, базується на різноманітних програмних рішеннях. В умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій, гаджети стали невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Вони полегшують нашу роботу, допомагають знайти інформацію, виконати обчислення та забезпечують безліч інших корисних функцій.

Однак, з масовим використанням програмного забезпечення, виникає основне питання: наскільки надійні та безпечні ці продукти? Якщо програмне забезпечення містить помилки або дефекти, це може призвести до серйозних проблем для користувачів. Щоб забезпечити високу якість та надійність програмного продукту, необхідне правильне тестування. Метою роботи є аналіз основних методологій розробки ПЗ для тестування.

Для досягнення мети було розглянуто основні концепції методологій на прикладі Agile та Scrum.

Викладання основного матеріалу. У сучасному інформаційному середовищі, де швидкість і адаптивність є ключовими чинниками успіху, методології розробки програмного забезпечення, такі як Agile та Scrum, стають все більш популярними. Хоча вони створювалися, як методології для розробки, їх можна пристосувати до будь-якої задачі. Давайте розглянемо основні концепції цих методологій та їх вплив на процес тестування.

Agile - це підхід, основним акцентом якого є гнучкість, відкритість та співпраця. Принципи Agile включають інкрементальну розробку, самоорганізацію команди, співпрацю з клієнтом. Це дозволяє швидко реагувати на зміни в вимогах та постійно вдосконалювати продукт.

Scrum - це популярна Agile-методологія, яка допомагає керувати проектами та розробляти програмні продукти. Для ефективного керування проектом визначаються чіткі ролі, події та артефакти.

У Scrum існують три ролі:

1. Product Owner, або власник продукту, який відповідає за управління вимогами та пріоритетами продукту.

2. Scrum Master, який забезпечує дотримання методології Scrum та допомагає команді вирішувати необхідні проблеми.

3. Development Team, або команда розробників, яка виконує усю розробку продукту. Це розділення ролей сприяє чіткому розподілу обов'язків і ефективному виконанню завдань. Спрінт - це інтервал часу, під час якого команда працює над конкретними поставленими завданнями. Тривалість цієї роботи від 2 до 4 тижнів. Готовий продукт є завершенням завдання.

Scrum включає кілька важливих подій для кращої організації роботи команди.

Розглянемо кожен з них:

Першою подією є планування Sprint Planning, під час якого вся команда детально обговорює та визначає завдання, які планує виконати протягом наступного спринту. Важливо, що усі завдання вибираються з Product Backlog.

Другою подією є щоденні зустрічі Daily Scrum, які відбуваються щоденно під час спринту, де команда оцінює свій прогрес та вирішує проблеми, які виникають. Кожен член команди зазвичай відповідає на три основні питання: "Що я виконав вчора?", "Над чим я працюю сьогодні?", "Чи є якісь перешкоди?"

Третя подія є перегляд Sprint Review, після завершення спринту команда демонструє результати своєї роботи при зустрічі з клієнтом або стейкхолдерами та отримує зворотний зв'язок.

Четверта подія аналіз Sprint Retrospective, де команда аналізує минулий спринт, виявляє, що пішло погано та добре і де є можливість покращення. Результати ретроспективи допомагають команді постійно вдосконалювати свій процес.

Використання Scrum у роботі з Jira: У багатьох організаціях для керування проектами і використання Scrum використовується програмне забезпечення Jira. Jira надає зручні інструменти для створення і управління Product Backlog, Sprint Backlog та відстеження інкрементів.

Product Backlog у Jira: Product Backlog - це список всіх завдань і вимог до продукту. В Jira ви можете створити проект і використовувати відповідний Backlog для реєстрації всіх вимог і завдань. Кожне завдання має опис, призначення і пріоритет, що допомагає команді розуміти, над чим працювати далі.

Sprint Backlog у Jira: Після планування спринту команда вибирає завдання з Product Backlog і додає їх до Sprint Backlog, який в Jira представляє собою список завдань для поточного спринту.

Increment у Jira: Increment - це готовий до випуску продукт, який створюється на кінець кожного спринту. В Jira ви можете відстежувати роботу над проектом та перевіряти стан готовності інкременту.

Використання Agile та Scrum у роботі зі спеціальними інструментами, такими як Jira, допомагає командам ефективно керувати проектами та забезпечувати високу якість програмного продукту. Ці методології надають інструменти та процеси, що сприяють постійному вдосконаленню та надійності продукту, а також зростанню задоволеності клієнтів.

Процес тестування при розробці програмного забезпечення та його подальшому вдосконаленні відіграє важливу роль. Якість та надійність програмного продукту безумовно залежать від якості проведеного тестування. Існують два основних напрямки тестування: мануальне та автоматизоване.

Мануальне тестування є традиційним та найпоширенішим способом перевірки програмного забезпечення. В цьому методі тестувачі вручну виконують тести на програмі, і вони грають ключову роль у виявленні помилок та встановленні відповідності програми вимогам. Існують декілька важливих переваг мануального тестування:

Мануальне тестування надає можливість швидко адаптуватися до різних змін у програмі. Тестувальники можуть модифікувати написані тести та проводити нові перевірки без необхідності переробки автоматизованих тестів.

Мануальне тестування надає можливість для перевірки інтерфейсу та взаємодії програми з користувачем, емулювати реальні умови використання програми та переконатися у тісній співпраці з користувачем.

Мануальне тестування дозволяє виявляти неочевидні помилки та недоліки, на відміну від автоматизованого тестування, де можливість упустити помилку. Тестувальники можуть виявити проблеми, які потребують інтуїції та творчого підходу.

Автоматизоване тестування передбачає використання програмних скриптів та інструментів для автоматизації тестів.

Розглянемо автоматизоване тестування на прикладі .

Було проведено тестування реєстрації на сайті E katalog. Чи все працює коректно. Завдяки тест-кейсу ми проходили шлях реєстрації на сайті від початку до кінця і перевіряли чи все виконується правильно , чи немає багів.

Перший етап для автоматизованого тестування є написання тест-кейсів.

Таблиця 1 – Тест-кейси

ID	1
Precondition:	The user must be on HomePage.
Steps:	1.Click on the "Log in" button.
	2.Click on the "Or register" button.
	3.Enter your name on the "Name" field.
	4.Enter your email on the "Email" field.
	4.Enter your Password on the "Password" field and click register.
Expected result	User must see registration was successful.

Наступне - це підготовка тестового середовища. В нашому випадку це ITELLIJ IDEA на мові програмування Java.

```
@BeforeMethod
public void openBrowser() {
    driver = new ChromeDriver();
    driver.get(BASE_URL);
    driver.manage().window().maximize();
}
```

```
@AfterMethod
public void closeBrowser() {
    //log.info("<<<=== Teardown");
    //driver.quit();
}
```

Прописуємо анотації:

@BeforeMethod – ця анотація відкриває браузер Google Chrome. (Вона в коді виконується сама перша).

@AfterMethod – ця анотація закриває браузер. (Вона в коді виконується сама остання після проходження Авто-тесту).

Наступний наш крок - через Xpath витягуємо елементи на веб-сторінці , які нам потрібні для проходження нашого тесту.

Наприклад: В пункті один нашого тест-кейсу необхідно натиснути на кнопку зареєструватися. Створюємо змінну і даємо назву, зазвичай називають, аналогічно, як і кнопку. Робимо такі змінні приватними і константами.

```
private static final String LOG_IN = "//div[@class=\"header_action_login\"]";
```

Рис.1. Створення змінної та назви

Після створення змінною прописуємо метод натискання на цю кнопку, щоб наш код був коротким і зрозумілим.

```
public HomePage clickLogIn() {  
    waitUntilElementToBeClickable(LOG_IN).click();  
    return this;  
}
```

Рис.2. Короткий код програми

Тут використовуємо вейтер - це очікування перед тим, як програма продовжить виконання, щоб переконатися, що все готово.

Після створення всіх змінних і методів, які прописані в тест-кейсі, викликаємо ці методи для того, аби наш код перевіряв чи все працює коректно на веб-сторінці.

```
@Test  
public void Registration() {  
    HomePage homePage = new HomePage(driver);  
  
    homePage.clickLogIn()  
        .clickRegistrationButton()  
        .inputNameInTheField(NAME)  
        .inputEmailInTheField(EMAIL)  
        .inputPasswordField(PASSWORD)  
        .clickButtonRegistr()  
        .clickConfirm();  
  
    Assert.assertTrue(homePage.textIsDisplayed());  
    Assert.assertTrue(homePage.buttonIsDisplayed());  
}
```

Рис.3. Виконання коду

Якщо після виконання нашого коду виводиться "Passed," це підтверджує успішне проходження тесту. У випадку, коли цього не сталося, це свідчить про виявлення багу.

В цьому автотесті використано Selenium.

Selenium - це набір інструментів і бібліотек для автоматизації веб-додатків. Він дозволяє програмістам і тестерам створювати скрипти, які автоматично взаємодіють з веб-додатками, виконуючи такі дії, як натискання на кнопки, заповнення форм, перевірка вмісту сторінок і багато інших. Selenium може бути використаний для тестування веб-додатків, веб-скрапінгу, а також для автоматизації завдань, які вимагають взаємодії з веб-сайтами.

Selenium надає можливість вибору мови програмування для написання автоматизованих тестів або скриптів, і підтримує багато різних браузерів, таких як Chrome, Firefox, Edge, інші. Selenium також має можливість працювати в різних операційних системах.

Основні компоненти Selenium включають у себе:

Selenium WebDriver: Це API, яке надає можливість програмно керувати веб-браузерами. Ви можете використовувати WebDriver для виконання дій на сторінках веб-сайтів, таких як кліки, введення тексту, отримання і перевірки даних тощо.

Selenium IDE: це розширення для браузера, яке дозволяє записувати та відтворювати дії користувача на сторінках веб-сайтів. Ви можете використовувати Selenium IDE для створення автоматизованих тестів без програмування.

Selenium Grid: цей компонент дозволяє запускати тести на різних браузерах та операційних системах паралельно, що полегшує тестування на різних конфігураціях.

Selenium є популярним інструментом в сфері тестування програмного забезпечення та веб-розробки, і він допомагає автоматизувати багато рутинних завдань, пов'язаних з взаємодією з веб-додатками.

Писати на фреймворці TestNG.

TestNG (Test Next Generation) - це фреймворк для тестування програмного забезпечення, який використовується для написання і виконання автоматизованих тестів в Java. TestNG розшифровується як "Test Next Generation" і був створений як більш потужний і гнучкий аналог JUnit і TestNG, із підтримкою більш широкого спектру тестових сценаріїв. Основні особливості та переваги TestNG включають у себе:

Анотації: TestNG використовує анотації (маркери) для вказівки методів, які слід виконати під час тестування, такі як `@Test`, `@BeforeMethod`, `@AfterMethod` і інші. Це дозволяє легко визначити порядок виконання тестових методів та конфігураційні дії перед і після тестування.

Групи тестів: Ви можете групувати тести в TestNG і виконувати лише певні групи тестів або виключити окремі групи з тестування. Це дозволяє вам легко організовувати ваші тести та виконувати їх партіями.

Параметризація: TestNG підтримує параметризацію тестів, що дозволяє вам виконувати один і той же тест з різними вхідними даними.

Залежності між тестами: Ви можете визначати залежності між тестами, що вказує порядок виконання тестів і гарантує, що попередні тести завершаться успішно перед виконанням наступних.

Розширені можливості налаштування: TestNG надає багато можливостей для налаштування тестового оточення, такі як робота з XML-файлами конфігурації тестів і визначення параметрів.

TestNG став популярним фреймворком для тестування в Java, особливо в контексті автоматизованого тестування, і він використовується в багатьох проектах для написання та виконання тестів.

Результати дослідження. Автоматизоване тестування сьогодні є необхідністю для перевірки результатів та недопущення повторних помилок.

Автоматизовані тести виконуються значно швидше, ніж мануальні. Це дозволяє зекономити час та ресурси під час тестування.

Автоматизовані тести можуть бути повторно виконані без змін, що дозволяє легко перевіряти функціональність програми під час розробки.

Автоматизоване тестування ідеально підходить для регресійного тестування, тобто перевірки, чи не було порушено раніше працюючих функцій при внесенні нових змін в код.

Наш автотест на реєстрацію був пройдений успішно і багів було не виявлено. Тест пройдено декілька разів для кращого запобігання багів.

Висновки. Аналіз наукових досліджень і публікацій вказує на те, що автоматизоване тестування програмного забезпечення надає можливість кожному розробнику та тестувальнику підвищити ефективність і якість процесу тестування. Воно спрощує виконання багатьох рутинних завдань, сприяє швидкому виявленню помилок і реагуванню на зміни у вимогах до програмного продукту. Цей метод також допомагає покращити співпрацю між розробниками та тестувальниками, зменшити тривалість тестового циклу та знизити загальні витрати на тестування.

Вибір мови програмування для реалізації автоматизованих тестів впав на Java з численних причин. По-перше, Java вже визнана світовою спільнотою розробників як мова програмування, яка демонструє надійність та стабільність. По-друге, Java має велику кількість бібліотек та інструментів для автоматизованого тестування, що спрощує процес створення та підтримки тестових сценаріїв. Нарешті, використання Java дозволяє створювати переносимий код, що робить автоматизоване тестування більш гнучким і адаптованим до різних платформ.

Для перевірки функціональності програмного забезпечення був створений тест-кейс, який спочатку проходився вручну, за допомогою мануального тестування, і потім виконувався автоматизованими тестами. Ця автоматизація була призначена для спрощення процесу тестування та зменшення часу, потрібного для виконання тестових сценаріїв. Результати автоматизованих тестів дозволили оперативно перевірити відповідність роботи модуля реєстрації сайту E-katalog.

Після аналізу отриманих результатів можна впевнено заявити, що розроблене програмне забезпечення працює бездоганно, що підтверджує його надійність та високу функціональність.

Список бібліографічного опису

1. Міскевич О. Дослідження загроз від кібератак та захист персональної інформації. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2021. № 45. С. 84-89. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-12>
2. Міскевич О., Каган І., Рожко О. Як обрати оптимальний ноутбук для навчання . Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2021. №43. С. 92-96. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-15>
3. Христинець Н., Міскевич О., Мазуренко В. Технології Blockchain для оптимізації процесів документообігу. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2020. №40. С. 153-157.
4. Міскевич О., Багнюк , Н., Христинець , Н., Марчевська О. Автоматизація виявлення дефектної продукції методами машинного навчання . Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2020. №39.С. 175-180.
5. Грицюк Ю.І. Аналіз вимог до програмного забезпечення: навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2018. 456 с.
6. Тестування та якість програмного забезпечення: URL: https://kpi-fictip32.github.io/Blog/s07/-software_quality.html_(дата звернення: 10.07.2023)

References

7. Miskevych O. Study of threats from cyberattacks and protection of personal information. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2021. №. 45. P. 84-89. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-45-12>
8. Miskevich O., Kagan I., Rozhko O. How to choose the optimal laptop for learning. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2021. № 43. P. 92-96. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2021-43-15>
9. Khrystinets N., Miskevich O., Mazurenko V. Blockchain technologies for optimizing document flow processes. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2020. № 40. P. 153-157.
10. Miskevych O., Bagniuk, N., Khrystinets, N., Marchevska O. Automation of detection of defective products using machine learning methods. Computer-integrated technologies: education, science, production. 2020. №. 39. S. 175-180.
11. Hrytsyuk Y.I. Analysis of software requirements: a tutorial. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. 2018. 456 p.
12. Software testing and quality: URL: https://kpi-fictip32.github.io/Blog/s07/-software_quality.html. (date of application: 10.07.2023)

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-23>

УДК 004.415.3

Осовська Ірина Петрівна, студент

Метелюк Сергій Володимирович, студент

Поліщук Микола Миколайович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1218-5925>

Конкевич Людмила Миколаївна, асистент

<https://orcid.org/0000-0002-8279-3133>

Луцький національний технічний університет, м Луцьк, Україна

МІКРОКОНРОЛЕРНА СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ СЕРЦЕВИХ СКОРОЧЕНЬ ЛЮДИНИ

Осовська І. П., Метелюк С.В., Поліщук М.М., Конкевич Л.М. Мікроконтролерна система вимірювання частоти серцевих скорочень людини. У роботі представлено дослідження пристрою для вимірювання функціональних показників частоти серцевих скорочень людини. Основною метою даного дослідження є розробка портативного програмно-апаратного комплексу для моніторингу стану людини, який використовує інтегральний датчик пульсу та мікроконтролер. Результати тестування прототипу системи моніторингу вимірювання частоти серцевих скорочень людини свідчать про подвійне підвищення швидкості вимірювань у порівнянні з економічними готовими пульсоксиметрами. Розроблена система може ефективно використовуватися в повсякденних умовах для моніторингу функціонального стану людини.

Ключові слова: Електрокардіограф (ЕКГ), пульсоксиметр, мікроконтролер, Arduino Nano, частота серцевих скорочень.

Osovska I., Metelyuk S., Polishchuk M., Konkevych L. Microcontroller System for Measuring Human Heart Rate.

The paper presents a study of a device for measuring functional indicators of human heart rate. The main goal of this research is to develop a portable hardware and software complex for monitoring the human condition, which utilizes an integrated pulse sensor and a microcontroller. Testing results of the prototype monitoring system for measuring human heart rate indicate a twofold increase in measurement speed compared to economically available pulse oximeters. The developed system can be effectively used in everyday conditions for monitoring the functional state of individuals.

Keywords: Electrocardiogram (ECG), pulse oximeter, microcontroller, Arduino Nano, heart rate.

Постановка наукової проблеми. Статистичні дані свідчать, що захворювання серцево-судинної системи є найпоширенішою причиною смертності у всьому світі. Щорічно в Україні через ці захворювання втрачає життя близько півмільйона осіб, що складає 60% від загальної кількості усіх померлих [1].

Для виявлення захворювань серцево-судинної системи використовують аналіз варіабельності серцевого ритму, що враховує вплив дихальної та нервової систем на роботу серця. Зокрема, вимірювання пульсу широко застосовується в різних діагностичних пристроях як ключовий елемент, визначаючи функціонування серця та організму в цілому. Це зумовлено необхідністю вдосконалення сучасних методів діагностики стану серцево-судинної системи та органів дихання [2].

Електрокардіографія є основним інструментом для діагностики функціонального стану серця, проте останнім часом зростає популярність альтернативних методів, таких як використання фітнес-трекерів, пульсометрів, «розумних» годинників, замість проведення електрокардіограми [3]. Більшість цих пристроїв працюють на основі фотоплетизмографії та вимагають контакту зі шкірою. Однак їх широкому поширенню заважають висока вартість і часті випадки низької якості сигналу для діагностики захворювань. Таким чином, виникає необхідність у пошуках альтернативних джерел самодіагностики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Моніторинг серцевого ритму став необхідним як для людей, які займаються спортом, так і для тих, хто веде пасивний спосіб життя. Використання пульсометрів дозволяє контролювати роботу серця, встановлювати допустимі навантаження, визначати зони пульсу і виявляти виходи за межі цих зон [4].

При огляді існуючих пристроїв для неінвазійного вимірювання частоти пульсу виявлено суттєвий недолік у системах із вбудованим датчиком вимірювання частоти серцевих скорочень - велика похибка. Ці пристрої чутливі до шумів, точності розташування датчиків відносно артерії, розташування на руці під час моніторингу, а також вимагають прямого контакту датчика з об'єктом [5].

Серед найвідоміших пристроїв для вимірювання частоти серцевих скорочень виокремлюються фітнес-браслети від Xiaomi. Їхня низька ціна та висока якість дозволили компанії увійти в трійку лідерів разом із Apple і Samsung. Перший успішний Mi Band підтвердився, і компанія вирішила не зупинятися на досягнутому, виправивши деякі недоліки. Mi Band 2 від Xiaomi є гідним конкурентом дешевих смарт-годинників [6].

Основна складність у створенні годинників з функцією вимірювання частоти серцевих скорочень полягає в тому, що годинник не може залишатися абсолютно нерухомим на руці протягом усього дня. Рухи руки та ковзання годинника створюють перешкоди, що може впливати на точність вимірювань. Додатково, в годинники, які вимірюють пульс, вбудовують п'єзорезистивні волокна, це робить датчики пристрою більш чутливими до переміщень і дозволяє підвищити точність вимірювань показників. Незважаючи на те, що наручні пульсометри продемонстрували задовільні показники під час проведення тестів, їхня точність залишається низькою [7].

У даній роботі запропоновано покращення існуючих засобів вимірювання показника частоти серцевих скорочень, спрямованих на підвищення точності вимірювань, покращення завадостійкості, компактності та зручності відображення отриманих даних.

Метою дослідження є розробка портативного програмно-апаратного комплексу для моніторингу частоти серцевих скорочень з використанням методу фотометрії, базованого на інтегральному датчику пульсу та мікроконтролері, який дозволить аналізувати властивості пульсової хвилі людини та отримувати дані про її максимальні та мінімальні значення.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Пристрої біомедичної апаратури, такі як електрокардіографи, є медичними електронними пристроями, які вимірюють та реєструють різницю потенціалів між характерними точками на поверхні тіла людини. Основним результатом їх роботи є отримання електрокардіограми (ЕКГ), яка представляє собою графічне відображення різниці потенціалів, які виникають під час роботи серця і реєструються на поверхні тіла. Використання мікроконтролера (МК) у таких приладах спрощує їх структуру, розширює функціональність і підвищує надійність електричної схеми. Це стосується не лише електрокардіографів, але й інших біомедичних пристроїв.

Мікроконтролер може виконувати вимірювання та обробку сигналу ЕКГ, використовуючи вбудовані аналого-цифрові перетворювачі (АЦП). Сигнал ЕКГ зі зондів надходить на вхід АЦП, де він перетворюється з аналогового формату в цифровий. Після цього мікроконтролер зчитує цифрові дані, обробляє їх за допомогою програмного забезпечення і генерує графічне представлення сигналу ЕКГ на дисплеї або записує його на зовнішній носій інформації для подальшого аналізу [8].

Таким чином, використання мікроконтролера в електрокардіографі дозволяє спростити структуру пристрою, збільшити його надійність і забезпечити високу точність вимірювання та обробки даних ЕКГ, що має велике значення для правильної діагностики і лікування пацієнтів.

На рис. 1 представлено узагальнений вигляд розробленого пристрою.

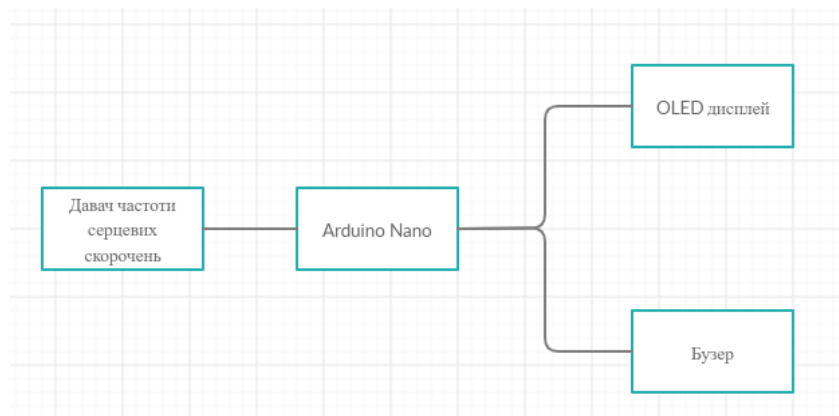


Рис. 1. Загальна структура пристрою

Сам пристрій включає в себе мікроконтролер, який функціонує на платформі Arduino Nano, сенсор пульсу, дисплей для відображення графіків та звуковий сигналізатор [9].

Для взаємодії з датчиком пульсу важливо, щоб мікроконтролер мав аналогово-цифрові входи. У випадку Arduino Nano кількість таких входів становить сім. Діапазон вимірювання знаходиться в межах від 3 до 5 Вольт.

Сенсор пульсу складається з світлодіода та фотодіода, а також необхідної обв'язки для ефективної роботи датчика. Підключення сенсора до Arduino Nano виконано відповідно до схеми, яка зображена на рисунку 2.

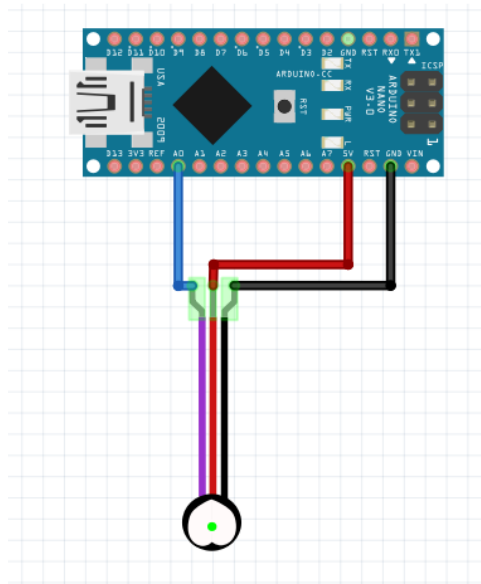


Рис. 2 – Підключення датчика до Arduino Nano

Для відображення графіків та частоти пульсу використовується OLED-дисплей SSD1306 з роздільною здатністю 128x64 пікселі. Цей дисплей працює за протоколом I2C, що робить його сумісним з більшістю мікроконтролерів (рис. 3).

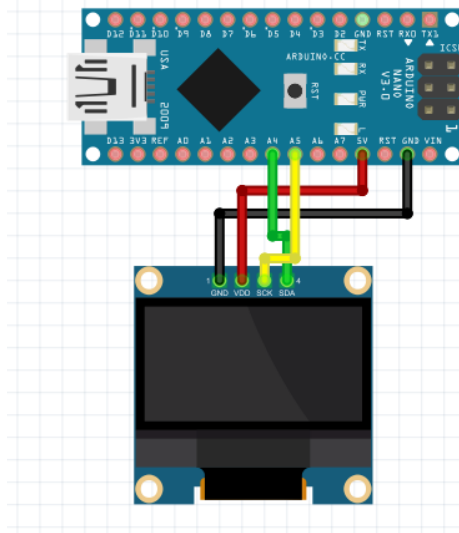


Рис. 3. Підключення дисплея SSD1306 до Arduino Nano.

Середовищем програмування мікроконтролерної системи є Arduino IDE – це інтегроване середовище розробки для програмування мікроконтролерів Arduino та інших сумісних платформ, таких як ESP8266, ESP32, STM32 та інші. Дане середовище є безкоштовним програмним забезпеченням з відкритим кодом, яке дозволяє створювати програми для контролю різних датчиків та виконувати дії з різними пристроями [10].

В програмі Arduino IDE були проведені дослідження частоти серцевих скорочень, результати яких було записано у текстовий файл для подальшого використання в програмі MatLab. Вимірювання проводилися протягом 10 секунд і включали в себе 5 вимірювань, виконаних відповідно до правил для вимірювання пульсу, та наступні 5 вимірювань, під час яких вводилися зовнішні впливи (такі як стрибки та різкі рухи руками), спричиняючи похибку вимірювань.

На основі результатів цих вимірювань був побудований графік, який відображає криві частоти серцевих скорочень в стані спокою (з відповідними правилами вимірювань) і під час руху рук (рис. 4).

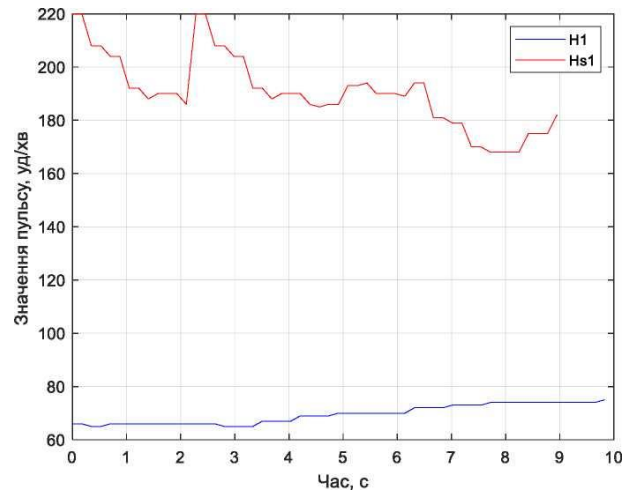


Рис. 4. Графік отриманих сигналів у режимі спокою (H1) та під час руху руки (Hs1)

Додатково, на основі цих даних був проведений спектральний аналіз вимірюваних значень. На рис. 5 наведено спектральні складові сигналів, отриманих у режимі спокою та під час руху руки за допомогою розробленого приладу для вимірювання частоти серцевих скорочень.

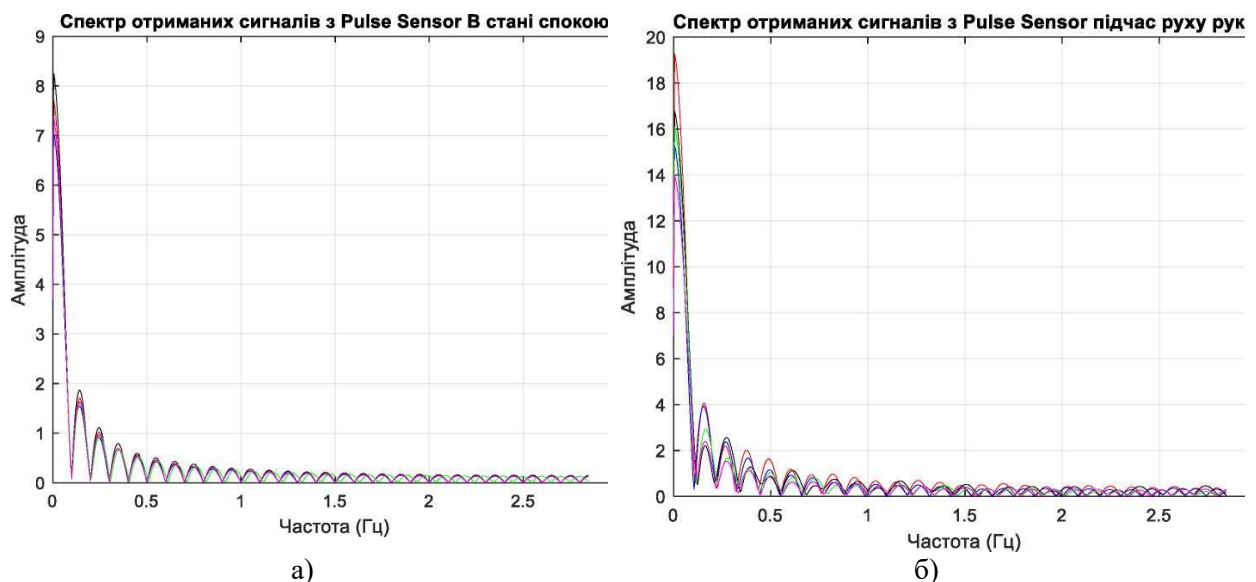


Рис. 5. Спектральні складові сигналів, отриманих у режимі спокою (а) та під час руху руки (б)

Використовуючи спектральний аналіз, було показано взаємозв'язок різних компонентів серцевого ритму, які відображають активність регуляторних механізмів.

Аналізуючи графіки на рисунку 5 – 6, можна зазначити, що спектр сигналів у стані спокою та під час руху рукою відрізняється за амплітудою гармонік, з яких формується сигнал. Застосовуючи статистичні методи, проводиться кількісна оцінка часового ряду сигналів частоти серцевих скорочень. Серед статистичних характеристик часового ряду включають такі параметри:

M – середнє значення інтервалів, які обернено пропорційні частоті серцевих скорочень:

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n nn_i,$$

де n кількість елементів, що входять в проміжок часу.

M_x – середньо квадратичне відхилення інтервалів на інтервалі спостереження:

$$M_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (nn_i - M)^2}.$$

D – квадратний корінь із середньої суми квадратів різниці між інтервалами послідовних відліків часового ряду.

$$D = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-1} (nn_i + nn_n)^2 \right].$$

CV – коефіцієнт варіації, виражений у відсотках.

$$CV = \frac{M_x}{M} \times 100\%.$$

Після отримання вимірювань пульсу за допомогою розробленого пристрою, необхідно переконатися у достовірності отриманих значень. З цією метою проводитиметься порівняльне вимірювання з використанням двох пристроїв: розробленого і еталонного. У якості еталону обрано пульсоксиметр Fingertip Pulse Oximeter LK-87, оскільки він має схожий принцип дії та кріплення до розробленого пристрою.

Здійснено вимірювання на 10 піддослідних різного віку за допомогою розробленого пристрою та еталонного.

Основні характеристики піддослідних (ПД):

1. ПД 1 – хлопчик, 11 років, відсутність патологій.
2. ПД 2 – дівчинка, 6 років, відсутність патологій.
3. ПД 3 – хлопчик, 13 років, невелика патологія.
4. ПД 4 – хлопець, 35 років, відсутність патологій.
5. ПД 5 – жінка, 35 років, відсутність патологій.
6. ПД 6 – чоловік, 38 років, відсутність патологій.
7. ПД 7 – жінка, 57 років, відсутність патологій.
8. ПД 8 – чоловік, 62 роки, невелика патологія.
9. ПД 9 – чоловік, 58 років, невелика патологія.
10. ПД 10 – жінка, 63 роки, наявність аритмії.

Методика вимірювання полягає в спочатку визначенні частоти серцевих скорочень у стані спокою (СС), потім виконанні фізичного навантаження (зазвичай, 20 присідань протягом 30 секунд), вимірюванні цієї величини після навантаження (ПН) і зачікуванні 2–3 хвилини перед повторним вимірюванням у стані відновлення (СВ). Результати вимірювань представлені у табл. 1.

Таблиця 1. Результати вимірювань

Піддослідні	Пульсометр Pulse Sensor			Пульсоксиметр		
	СС	ПН	СВ	СС	ПН	СВ
ПД 1	106	152	110	108	152	111
ПД 2	100	160	107	100	160	107
ПД 3	85	120	90	85	121	92
ПД 4	87	132	92	87	132	92
ПД 5	75	129	83	75	129	83
ПД 6	76	115	90	76	115	90
ПД 7	81	142	96	81	141	96

ПД 8	85	135	83	85	136	82
ПД 9	88	134	84	88	134	85
ПД 10	90	113	110	90	113	108

Після фізичних навантажень відбувається збільшення частоти серцевих скорочень (ЧСС), що відображає активність серця. Чим вище значення ЧСС, тим інтенсивніше кров постачається по артеріям. Зазвичай, здорова людина відновлює свій нормальний пульс протягом 5–10 хвилин після завершення фізичного навантаження. Повільне відновлення ЧСС свідчить про можливе надмірне навантаження.

Для аналізу реакції пульсу на фізичне навантаження проводиться порівняння даних про ЧСС у стані спокою (СС) та після навантаження (ПН) з обчисленням відсоткової зміни (табл. 2). Значення ЧСС у стані спокою вважають за 100%, а різниця в частоті до та після навантаження виражається як R.

$$K = (R * 100) / CC.$$

$$R = ПН - СС.$$

Функціональний стан серцево-судинної системи обчислюється за наступною формулою:

$$P = \frac{CC + CB}{2}.$$

Таблиця 2. Аналіз реакції пульсу на фізичне навантаження та результати проби на дозоване навантаження

Підослідні	Розрахунки (K)	Розрахунки (P)
ПД 1	$\frac{(152 - 106) \times 100}{106} = 43,39\%$	$\frac{106 + 110}{2} = 113$
ПД 2	$\frac{(160 - 100) \times 100}{100} = 60\%$	$\frac{100 + 107}{2} = 103,5$
ПД 3	$\frac{(120 - 85) \times 100}{85} = 41,17\%$	$\frac{85 + 90}{2} = 87,5$
ПД 4	$\frac{(132 - 87) \times 100}{87} = 51,72\%$	$\frac{87 + 92}{2} = 89,5$
ПД 5	$\frac{(129 - 75) \times 100}{75} = 72\%$	$\frac{75 + 83}{2} = 79$
ПД 6	$\frac{(115 - 76) \times 100}{76} = 51,31\%$	$\frac{76 + 90}{2} = 83$
ПД 7	$\frac{(142 - 81) \times 100}{81} = 75,3\%$	$\frac{81 + 96}{2} = 88,5$
ПД 8	$\frac{(135 - 85) \times 100}{85} = 58,82\%$	$\frac{85 + 83}{2} = 84$
ПД 9	$\frac{(134 - 88) \times 100}{88} = 52,27\%$	$\frac{88 + 84}{2} = 86$
ПД 10	$\frac{(113 - 90) \times 100}{90} = 25,25\%$	$\frac{90 + 110}{2} = 100$

Враховуючи інформацію з цієї таблиці, можна зазначити, що більшість підослідних показали збільшення частоти серцевих скорочень після фізичного навантаження на понад 50%.

Порівнюючи отримані результати з нормами пульсу для різних вікових категорій, можна зазначити, що в 7 підослідних значення пульсу входить в норму, у 1 підослідних вони близькі до норми, і у 2 підослідних значення пульсу перевищують норму. За результатами цих розрахунків можна сказати, що в більшості випадків з віком значення пульсу збільшуються.

На основі результатів експерименту було знайдено значення абсолютної та відносної похибок.

Абсолютна похибка визначається за наступною формулою:

$$\Delta A = A_{\text{вимір}} - A_{\text{дійсне}}$$

де $A_{\text{вимір}}$ – виміряне значення частоти серцевих скорочень за допомогою розробленого пульсометру, $A_{\text{дійсне}}$ – виміряне значення частоти серцевих скорочень за допомогою пульсоксиметру, яке вважається еталонним.

Результати обчислення абсолютної похибки вимірювання експерименту подані у табл. 3.

Таблиця 3. Результати обчислення абсолютної похибки вимірювання експерименту

СС	ПН	СВ
$\Delta A1=108-106=2$	$\Delta A1=152-152=0$	$\Delta A1=111-110=1$
$\Delta A2=100-100=0$	$\Delta A2=160-160=0$	$\Delta A2=107-107=0$
$\Delta A3 = 85 - 85 = 0$	$\Delta A3=121-120=1$	$\Delta A3=92-90=2$
$\Delta A4 = 87 - 87 = 0$	$\Delta A4 = 132 - 132 = 0$	$\Delta A4 = 92 - 92 = 0$
$\Delta A5 = 75 - 75 = 0$	$\Delta A5 = 129 - 129 = 0$	$\Delta A5 = 83 - 83 = 0$
$\Delta A6 = 76 - 76 = 0$	$\Delta A6=115-115=0$	$\Delta A6=90-90=0$
$\Delta A7 = 81 - 81 = 0$	$\Delta A6=141-142=-2$	$\Delta A7=96-96=0$
$\Delta A8 = 85 - 85 = 0$	$\Delta A7=136-135=1$	$\Delta A8=82-83=-1$
$\Delta A9 = 88 - 88 = 0$	$\Delta A8=134-134=0$	$\Delta A9 = 85 - 84 = 1$
$\Delta A10=90-90=0$	$\Delta A9=113-113=0$	$\Delta A10=108-110=-2$

Після аналізу обчислених значень абсолютної похибки було зроблено висновок, що відхилення результатів, а саме абсолютна похибка вимірювання, створеного пристроєм для визначення частоти серцевих скорочень від показників пульсоксиметру, не перевищує 2%, що відповідає припустимому стандарту.

Висновки. Було спроектовано та розроблено мікроконтролерну систему для моніторингу частоти серцевих скорочень на основі сучасного мікроконтролера Arduino Nano. Використання портативного пульсометра дозволяє здійснювати моніторинг пульсу людини, уникнувши використання багатьох технічних засобів, клем, або великої кількості дрітків для з'єднання. Розроблена мікроконтролерна система відрізняється високою енергоефективністю, точністю вимірювань та доступною вартістю. Крім того, діагностичні дані можна записувати на зйомний носій інформації та у подальшому досліджувати, використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення, розроблене в середовищі MatLAB на персональному комп'ютері.

Список бібліографічного опису

1. Кількість померлих за окремими причинами смерті. Державна служба статистики України. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ds/krops/arh_krops2021_u.html.
2. Крючко І., Петросян Л., Стенцель Й. Дослідження функціонального стану серцево-судинної системи організму людини. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2016. С. 97–102.
3. Ramasamy S., Balan A. Wearable sensors for ECG measurement: A review. Sens. Rev. 2018 doi: 10.1108/SR-06-2017-0110.
4. Rákay, R. ., & Galajdová, A. . (2021). КОНЦЕПЦІЯ МОНІТОРИНГУ ФІЗІОЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ НОСИМИХ СЕНСОРІВ. Технічні науки та технології, (4(22), 190–197. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4\(22\)-190-197](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4(22)-190-197).

5. Шарпан О.Б. Аналіз характеру залежності між пульсовим тиском в артерії та амплітудою неінвазивно зареєстрованого пульсового сигналу / О.Б. Шарпан, О.П. Мітров // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2006. – № 33. – с. 136-141.
6. Годинники з функцією вимірювання артеріального тиску. URL: <https://www.a-betka.in.ua/2017/04/godynniky-dlja-vymiryuvannya-arterialnogo-tysku.html>.
7. Guzik P., Malik M. ECG by mobile technologies. J. Electrocardiol. 2016; 49:894–901. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2016.07.030.
8. Ibrahim D., Buruncuk K. Heart rate measurement from the finger using a low cost microcontroller. URL: https://www.emo.org.tr/ekler/a568a2aa8c19a31_ek.pdf.
9. Півень В.В. Первинні перетворювачі вимірювання серцебиття на базі платформи Arduino. Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих науковців 19 лютого 2019 р., м. Миколаїв: тези доп. Комп'ютерна інженерія. Чорном. Нац. Ун-т ім. Петра Могили. – Миколаїв: Видво ЧНУ ім. Петра Могили, 2019. С. 49–51.
10. Кривонос О.М. Огляд платформи Arduino Nano 3.0 та перспективи використання під час навчального процесу / О. М. Кривонос, Є. В. Кузьменко, С. В. Кузьменко // Інформаційні технології і засоби навчання. Том 56, № 6. - Київ, 2016. – С.79-80.

References

1. Number of dead by individual causes of death. State Statistics Service of Ukraine. URL: https://ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/ds/kpops/arh_kpops2021_u.html.
2. Kriuchko I., Petrosyan L., Stentzel Y. Investigation of the functional state of the cardiovascular system of the human body. Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2016. P. 97–102.
3. Ramasamy S., Balan A. Wearable sensors for ECG measurement: A review. Sens. Rev. 2018 doi: 10.1108/SR-06-2017-0110.
4. Rákay, R. ., & Galajdová, A. . (2021). Concept For Physiological Function Monitoring With Wearable Sensors. Technical Sciences And Technologies, (4(22)), 190–197. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4\(22\)-190-197](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-4(22)-190-197).
5. Sharpan O.B. Analysis of the relationship between pulse pressure in the artery and the amplitude of the noninvasively recorded pulse signal / O.B. Sharpan, O.P. Mitrov // Bulletin of NTUU "KPI". Radio Engineering and Radio Apparatus Construction Series. 2006. No. 33. P. 136-141.
6. Watches with the function of measuring arterial pressure. URL: <https://www.a-betka.in.ua/2017/04/godynniky-dlja-vymiryuvannya-arterialnogo-tysku.html>
7. Guzik P., Malik M. ECG by mobile technologies. J. Electrocardiol. 2016; 49:894–901. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2016.07.030.
8. Ibrahim D., Buruncuk K. Heart rate measurement from the finger using a low cost microcontroller. URL: https://www.emo.org.tr/ekler/a568a2aa8c19a31_ek.pdf
9. Piven V.V. Primary converters for heart rate measurement based on the Arduino platform. All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists, February 19, 2019, Mykolaiv: Theses of Reports. Computer Engineering. ChNU named after Petro Mohyla. – Mykolaiv: Publishing House of ChNU named after Petro Mohyla, 2019. P. 49–51.
10. Krivonos O.M. Overview of the Arduino Nano 3.0 platform and prospects for use in the educational process / O. M. Krivonos, Ye. V. Kuzmenko, S. V. Kuzmenko // Information Technologies and Learning Tools. Vol. 56, No. 6. - Kyiv, 2016. – P.79-80

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-24>

УДК 524.8

Пастернак Роман Михайлович, к. фіз.-м. н., доцент<https://orcid.org/0000-0001-9668-9161>

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ПАРАМЕТР ГАББЛА В ЧОТИРИВИМІРНИЙ КОРПУСКУЛЯРНИЙ МОДЕЛІ ВСЕСВІТУ

Пастернак Р.М. Параметр Габбла в чотиривимірній корпускулярній моделі Всесвіту. Для моделювання Всесвіту, де присутні як спостережувані частинки, так і частинки холодної темної матерії та темної енергії, запропоновано використовувати альтернативний апарат релятивістської механіки в евклідовому 4-просторі, в якому наявні засоби опису фізичного вакууму та усіх різновидів частинок, включно з темними. Показано, що вибір виділеної за Г. А. Лоренцом системи відліку обмежує застосування в релятивістській механіці апарату простору-часу. Подано порівняння ряду критеріїв визначення віддалі до космічних об'єктів за величиною космологічного червоного зсуву.

Ключові слова: релятивістська механіка, параметр Габбла, хід часу, фізичний вакуум.

Pasternak R. The Hubble parameter in the four-dimensional corpuscular model of the universe. To model the universe, where both observed particles and particles of cold dark matter and dark energy are present, it is proposed to use an alternative apparatus of relativistic mechanics in Euclidean 4-space, which has means of describing the physical vacuum and all types of particles, including dark ones. It is shown that the choice of the reference system selected by G. A. Lorentz limits the application of the space-time apparatus in relativistic mechanics. A comparison of a number of criteria for determining the distance to space objects by the size of the cosmological redshift is presented.

Key words: relativistic mechanics, Hubble's constant, passage of time, physical vacuum.

Постановка завдання. Розрахунки параметра Габбла, проведені на основі аналізу спектрів зірок [1], значно відрізняються від отриманих при вивченні властивостей космічного мікрохвильового фону (КМФ) [2]. У пропонованій роботі розглянуто можливі причини такої невідповідності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Астрономічні вимірювання та розрахунки, виконані відповідно до метрики Фрідмана-Леметра-Робертсона-Вокера (ФЛРВ) [3], вказують на можливе нерівномірне розширення Всесвіту. Якщо в [3] зроблено спробу пояснити його впливом кривини Всесвіту, то в [4] – еволюцією світності наднових типу 1a (SN 1a) [1]. У роботі [5] представлено порівняння апарату Спеціальної теорії відносності (СТВ) з тестовими теоріями (включаючи теорії Г.П. Робертсона та Мансурі-Секста) [5], що допускають розширення перетворень Лоренца додатковими параметрами. При побудові релятивістської хвильової механіки П. Дірак показав [6], що адекватним їй є 4-вимірний простір імпульсів частинок. У [7] запропоновано апарат релятивістської корпускулярної механіки (АРМ) в евклідовому 4-просторі, що має засоби опису також темних різновидів матерії.

Метою роботи є перевірка виконання закону Габбла-Леметра у чотиривимірному Всесвіті, для моделювання якого запропоновано використовувати апарат АРМ [7]. Задля сумісного виконання законів збереження імпульсу та енергії, на відміну від криволінійного простору Б. Рімана Загальної теорії відносності [1], використано поняття непланарного дисипативного вузла взаємодії частинок в евклідовому 4-просторі АРМ.

1. Простори 4-переміщень та 4-імпульсів у АРМ

У цьому розділі основні поняття АРМ [7] модифіковано відповідно до моделі центральносиметричного 4-вимірного Всесвіту [1].

1.1. Простір 4-переміщень. Час. У механіці доступними спостереженню є лише вузли взаємодії частинок [8]. В АРМ [7] для запису просторових позицій (вузлів) взаємодії частинок використано евклідів 4-простір R^4 , що є розширенням евклідового 3-простору СТВ неспостережуваною четвертою координатою (замість часової координати в просторі-часі [8]). Усе розмаїття частинок в АРМ представлено сукупністю графів взаємодій, що містять точкові вузли взаємодії частинок та орієнтовані прямолінійні вітки між ними – вільні частинки [7]. Стабільні частинки, що охоплюють багато вузлів взаємодій, в АРМ виділяють ламаними лініями (4-траєкторіями). Як наслідок, в АРМ вводять поняття часу t , що пропорційний параметру 4-траєкторії частинки [7]

$$dR = cdt, \quad (1)$$

де c – фундаментальна стала. Тобто, хід часу t пов'язаний з метрикою Всесвіту [1].

1.2. *Космічні системи відліку. Власні напрями КСВ.* При моделюванні Всесвіту, як правило, використовують дві системи відліку: КСВ – космічну, виміри в якій відбуваються відносно Всесвіту, як цілісного центральносиметричного космічного об'єкту [1], та ССВ – супутню з розширенням Всесвіту, де тіло відліку належить ССВ. Таким чином, властивості космічних систем відліку узгоджені з симетрією центральносиметричного Всесвіту.

Відповідно до космологічного принципу [1] у Всесвіті існує безліч КСВ, а напрям неспостережуваної в ССВ координати збігається з напрямом $\vec{\zeta}_s$ радіального променя, що виходить з точки B центру симетрії Всесвіту і проходять через точку C спостерігача [7]. На рис. 1 наведено переріз Всесвіту, де радіальні промені – *власні напрями КСВ* $\vec{L}_O$ випромінювача та $\vec{L}_C$ спостерігача, а дуга радіусом R_H із центром у точці B характеризує фронт розширення динамічного Всесвіту.

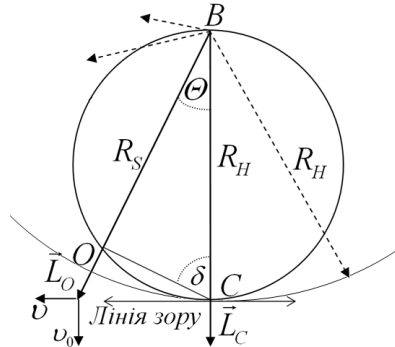


Рис. 1. Власні лінії КСВ

1.3. *Простір 4-імпульсів частинок в АРМ.* Основною характеристикою кожної частинки є її 4-імпульс $\vec{P} = P\vec{\chi} = \vec{p} + \vec{p}_0$ в евклідовому 4-просторі P^4 , де $\vec{p} = p\vec{\tau}$ – спостережуваний в ССВ релятивістський імпульс, а $\vec{p}_0 = p_0\vec{\zeta}_s$ – неспостережуваний в ССВ *власний імпульс* частинки [7]. Тут $\vec{\tau}$ та $\vec{\zeta}_s$ – одиничні 4-вектори. Наслідком виконання принципів П. Дірака $E = c|\vec{P}|$ [6] та А. Айнштейна $E = c^2m$, де E – повна енергія частинки, а m – її повна маса [7], є умова:

$$|\vec{P}| = cm. \quad (2)$$

Зважаючи на принцип Л. Ейлера [8] $\vec{P} = m\vec{V}$, із (2) випливає, що в релятивістській механіці величина 4-швидкості довільної частинки незмінна і не залежить від напрямку її поширення: $|\vec{V}| = c$.

При аналізі поведінки усього різноманіття частинок в АРМ користуються Стандартною моделлю частинок [9], розширеною на 4-простір двома типами фундаментальних бозонів: частинок неспостережуваної холодної темної матерії (DaM) (гіпотетично відповідає нерухомому ефіру Г. А. Лоренца [10]), та неспостережуваної темної енергії (DaE) (гіпотетично, фотони). Напрямок поширення частинок DaM збігається з *власним напрямом* $\vec{\zeta}_s$ КСВ [7]. Напрямок поширення частинок DaE ортогональний до $\vec{\zeta}_s$. У кожній КСВ частинки DaM мають 4-імпульси $\vec{P}_s = P_s\vec{\zeta}_s$, (займають одновимірний підпростір P^1), а частинки DaE – 4-імпульси $\vec{P}_O = P_O\vec{\tau}$ (займають 3-вимірний підпростір P^3). Відповідно до означення підпростору P^1 та P^3 не перетинаються, тобто:

$$(\vec{\zeta}_s, \vec{\tau}) = 0. \quad (3)$$

Виконання умови (3) для частинок DaM та DaE є основою стійкості фізичного вакууму.

Елементарні спостережувані частинки – баріони [11] – що є гібридом названих фундаментальних частинок, займають простір P^4 (за виключенням підпросторів бозонів P^1 чи P^3) та можуть поширюватися під кутом α до власного напрямку КСВ.

1.4. *Нативні частинки та номади.* АРМ розглядає поведінку частинок лише в інерційних КСВ. Відповідно до умови (3) Г.А. Лоренца, інерційність КСВ пов'язана з існуванням холодної темної матерії [7]:

$$\vec{p}_0 = p_0\vec{\zeta}_s = \text{const} \forall t. \quad (4)$$

Враховуючи космологічний принцип, кожна окрема КСВ пов'язана з кластером S власних (нативних) частинок, для яких виконується умова (4). Решта частинок Всесвіту є позакластерними. Окрему групу позакластерних фотонів (для яких $p_0 = 0$, тобто мова (4) незастосовна), складають номади (частинки-мігранти), які можуть вільно переміщатися Всесвітом. Лише для нативних фотонів виконується умова (3); за відсутності холодної темної матерії (ефіру) принцип А. Ейнштейна незмінності швидкості поширення світла у вакуумі [8] не має раціонального пояснення.

1.5. *Порівняння ходу часів АРМ та ФЛРВ.* Релятивістська механіка 4-вимірна. В основу метрики ФЛРВ покладено одне з найбільш контраверсійних для релятивістської механіки поняття 3-вимірного простору та координатного часу t' [8], які за допомогою перетворень Лоренца [10] лише імітують властивості 4-простору. Оскільки в просторі-часі означення ходу часу відсутнє, порівняємо його з означенням ходу часу в АРМ, для чого розпишемо величину елементарного 4-переміщення $d\vec{R}$ з використанням його розкладу на спостережувану $d\vec{r}$ та неспостережувану $d\vec{s}$ складові в КСВ [7]:

$$dR^2 = dr^2 + ds^2 = c^2 dt^2. \quad (5)$$

Пов'язавши неспостережувану величину ds^2 зі спостережуваними величинами

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dr^2 = (c^2 - v^2) dt^2 = c^2 \gamma^{-2} d(t)^2 = c^2 d(t')^2, \quad (6)$$

де $\gamma = (1 - (v/c)^2)^{-1/2}$ – Лоренц-фактор [8], а час $t' = \gamma^{-1} t$, перейдемо до гіперкомплексного простору-часу [8], в якому ds називають скаляром Лоренца [8] (чи сферичною поверхнею у ФЛРВ [1]). Якщо в просторі R^4 $d\vec{s}$ є вектором, а час t скаляром, що пропорційний його метриці, то в СТВ усе навпаки – координатний час t' є вектором (за означенням простору-часу), а $ds = v_0 dt = c dt'$ – скаляром що пов'язаний з величиною неспостережуваної складової 4-швидкості v_0 .

З позиції АРМ перехід від параметризації спостережуваної складової 4-траєкторії частинки до параметризації її неспостережуваної складової принципово нічого не змінює. Формально хід часу t в просторі-часі збігається з його ходом у 4-просторі R^4 . Однак, у просторі R^4 мова йде про інше означення інерційної системи відліку (привілейованої), виключно для якої виконується умова (5). Г. Мінковський, провівши для спостережуваної складової релятивістського імпульсу $\vec{p} = m\vec{v} = (m_0 \gamma^{-1})\vec{v}$ [7] фізично необґрунтовану перестановку коефіцієнта γ^{-1} від m_0 до $\vec{v}$, тобто $\vec{p} = m_0(\gamma^{-1}\vec{v})$, взагалі позбавив апарат СТВ принципу еквівалентності маси та енергії частинок та зробив неоднорідним хід часу. Фізичне трактування самого поняття виділена за Г.А. Лоренцом інерційна система відліку стало можливими лише після доповнення апарату механіки фундаментальними частинками DaM та DaE. Отже, математично бездоганний апарат простору-часу з не менш елегантними перетвореннями Лоренца в ньому [8] є необхідними, але не достатніми для побудови апарату релятивістської механіки.

2. Взаємодія частинок

У АРМ класичні закони збереження сумарної енергії та імпульсу частинок [1] у точковому вузлі взаємодії поширено на простір 4-імпульсів (доповнивши їх умовами збереження результуючого власного імпульсу). У цьому розділі розглянуто процеси випромінювання та поглинання фотонів у різних КСВ.

2.1. *Непланарний дисипативний вузол взаємодії.* Запишемо сумісно закони збереження імпульсу та енергії для вузла взаємодії двох частинок з 4-імпульсами $\vec{P}_1$ та $\vec{P}_2$, результатом якої могла б бути частинка з 4-імпульсом $\vec{P}_3$:

$$\vec{P}_3 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2; \quad P_3 = P_1 + P_2. \quad (7)$$

Незалежно від значень векторів $\vec{P}_1$ та $\vec{P}_2$ забезпечити виконання умов (7) в евклідовому просторі R^4 неможливо, оскільки відсутня частинка-акцептор надлишку сумарної енергії взаємодії:

$$E_A = c \left(P_1 + P_2 - \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2(\vec{P}_1, \vec{P}_2)} \right). \quad (8)$$

Для забезпечення сумісного виконання законів збереження імпульсу та енергії у тривітковому вузлі взаємодії та можливості застосування у фізиці детермінізму диференціального числення Ньютона–Лейбніца, А. Ейнштейн у Загальній теорії відносності запропонував використовувати

криволінійний простір Б. Рімана [1]. Натомість в АРМ замість тривіткового, використано чотиривітковий вузол взаємодії, а для тягості апарату динаміки запропоновано використовувати середньостатистичний дисипативний п'ятивітковий вузол взаємодії [7] частинок в евклідовому 4-просторі.

2.2. *Балістичний принцип.* Нехай випромінювач, що нерухомий в КСВ, породжує нативні фотони з 4-імпульсами $\vec{P}_R(0) = P_R(0)\vec{\zeta}_\tau$, для яких $(\vec{\zeta}_\tau, \vec{\zeta}_S) = 0$. При куті аберації випромінювача $\alpha_R \neq 0$ зв'язані з випромінювачем фотони матимуть додатковий імпульс $\Delta\vec{P}_R = P_R(0)\sin\alpha_R\vec{\tau}$, де $\vec{\tau}$ – одиничний вектор напряму спостережуваної швидкості $\vec{v}_R = v_R\vec{\tau}$ випромінювача.

Якщо випромінювання фотонів відбувається під кутом φ до напряму $\vec{\tau}$ руху випромінювача, де $\cos\varphi = (\vec{\tau}, \vec{\zeta}_\tau)$, то кожен фотон винесе додатковий імпульс $\Delta\vec{P}_\varphi = \Delta P_R(\vec{\tau}, \vec{\zeta}_\tau)\vec{\zeta}_\tau$. Відповідно до закону збереження енергії:

$$P'_R = P_R(0)(1 + \sin\alpha_R \cos\varphi). \quad (9)$$

Дослід Майкельсона-Морлі [8] показав, що процеси випромінювання і поглинання фотонів речовиною в одній КСВ оборотні.

2.3. *Космологічна натуралізація фотонів.* Розглянемо фотон, що по чергово перебуває в двох локальних КСВ з різними опорними напрямками $\vec{\zeta}_R$ та $\vec{\zeta}_A$, як наведено на рис. 2. Фотон, нативний у КСВ_R випромінювача, не відповідає умові (3) у КСВ_A (у даній КСВ у нього є надлишкова енергія). Для узгодження властивостей фотона-мігранта із умовою (3) запропоновано гіпотезу космологічної натуралізації фотонів (КНФ): випромінений в КСВ_R фотон з імпульсом $\vec{P}_R$ взаємодіє в КСВ_A з гібридною частинкою (на рис. 2 вона не наведена), що є акцептором енергії, з випромінюванням нативного в КСВ_A фотона з 4-імпульсом $\vec{P}_A$ та породженням частинки ДаМ з 4-імпульсом $\vec{P}_S$. Як наслідок, для реєстратора, що нерухомий ($\alpha_A = 0$) в КСВ_A, отримаємо:

$$P_A = P_R(\vec{\zeta}_R, \vec{\zeta}_A) = P_R \cos\Theta, \quad (10)$$

де Θ – кут між власними напрямками КСВ_R та КСВ_A. Оскільки основна маса гібридних частинок галактик зосереджена, в основному, в їхніх газопилових хмарах, КНФ відбуватиметься переважно тут, що підтверджено астрономічними спостереженнями (дифузне розосередження темної матерії на околицях галактик, розігрів газопилових хмар [1]).

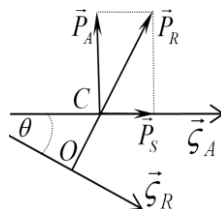


Рис. 2. Схема вузла КНФ

Гіпотезу КНФ введено на заміну формулі Х. Доплера [3], що порушує закони збереження та породжує парадокси. Наприклад, відповідно до метрики ФЛРВ [3], фотони у динамічному Всесвіті змінюють довжину хвилі, тоді як енергія решти вільних частинок залишається незмінною.

2.4. *Спектроскопія зірок.* При астрономічних спостереженнях оперують не величинами імпульсів фотонів, а їхніми спектральними характеристиками. Відповідно до формули М. Планка [8], для векторних частинок $P = p = \hbar k$, де $\hbar$ – стала Дірака, а k – хвильове число [10]. Отже, замість величин P_R та P_A імпульсів фотонів, у формулі (10) можна використовувати їхні хвильові числа, – відповідно k_R та k_A . Застосовуючи параметр z відносного зсуву спектру $z = k_R / k_A - 1$ [1], пов'яжемо величину неспостережуваного кута Θ зі спостережуваною величиною z :

$$\cos\Theta = (z + 1)^{-1}. \quad (11)$$

Враховуючи останні позначення, перепишемо (10) у вигляді:

$$k_A = k_R(z + 1)^{-1}. \quad (12)$$

Для нативних фотонів їхнє випромінювання (реєстрація) рухомим об'єктом (в одній КСВ), відповідно до (9) отримаємо

$$k'_R = k_R \left(1 + \frac{v}{c} \cos \varphi\right), \quad (13)$$

що збігається зі стандартною формулою Х. Доплера [1].

3. Космічні відстані

3.1. *Лінії реєстрованих подій.* Вектори 4-імпульсів нативних у КСВ_R фотонів, що випромінюються космічним об'єктом O , ортогональні до променя $\vec{L}_O$. Лінія зору спостерігача в КСВ_R ортогональна до променя $\vec{L}_C$, (див. рис. 1). У загальному випадку в точці C можна спостерігати лише ті космічні об'єкти, які перебувають на лінії реєстрованих подій – колі $SOBC$ діаметром, що дорівнює радіусу Габбла $R_H = (4,235 \pm 0,002)$ Гпк [2]. Доступними спостереженню будуть об'єкти, що знаходяться на усіх можливих лініях реєстрованих подій (в гіпероб'ємі реєстрованих подій).

3.2. *Стала Габбла.* Е. Габбл (та незалежно Ж. Леметр) запропонували процедуру визначення величини R_H , що зводиться до використання деякого допоміжного параметра H_0 (сталі Габбла), однакового для усіх зірок [1]. Відповідно до означення [3], стала Габбла $H_0 = v / D_H$ є відношенням променевої швидкості v зірки до відстані $D_H = OC$ від спостерігача до неї (див. рис. 1). З геометричних співвідношень рис. 1 випливає, що в АРМ променева (спостережувана) швидкість $v = c \sin \alpha$, а відстань до джерела $D_H = R_H \sin \alpha$, тобто $H_0 = \text{const}$, а її асимптотичне значення $H_0 = cR_H^{-1}$. Аналізуючи лінійчаті спектри випромінювання зірок, за величиною параметра z відносного зсуву спектру та формулою (7) балістичного принципу можна розрахувати спостережувану швидкість випромінювача і провести подальші викладки. Оскільки в релятивістському варіанті спостережуваною в ССВ буде лише частина 4-вимірного відрізка $D_R = D_H \cos \alpha$, параметр Габбла виявиться змінним:

$$H_{0R} = \frac{H_0}{\cos \alpha} = H_0 (z + 1). \quad (14)$$

Неузгодженість розгляду задачі Габбла-Леметра в ССВ спостерігача полягає також у тому, що випромінені в КСВ_R фотони є нативними лише біля спостерігача, а поширення властивостей КСВ_A на весь Всесвіт є некоректним. У [12] показано, що в межах космічної комірки (при $z < 0,03$ [1]), де фотони нативні, використання критерію Габбла-Леметра дає значення сталої Габбла до 3 % більше, ніж його асимптотичне значення.

3.3. *Відстань до випромінювача в АРМ.* У роботі запропоновано замість задачі про відстань від спостерігача в КСВ_A до випромінювача в КСВ_R, розглянути еквівалентну їй одновимірну задачу про поведінку фотонів, нативних в КСВ_R випромінювача. Враховуючи центральну симетрію Всесвіту та поняття нативних частинок в конкретних КСВ на лінії спостережуваних подій доходимо висновку, що уздовж променя $\vec{L}_O$ (див. рис. 1) відстань R_S в КСВ_R пов'язана з доповняльною їй відстанню $D_S = R_H - R_S$ від випромінювача до умовного спостерігача на фронті розширення Всесвіту в КСВ_R. Оскільки величина R_S залежить від кута Θ між власними напрямками КСВ_A спостерігача та КСВ_R випромінювача, відстань $D_S = R_H (1 - \cos \Theta)$. Підстановкою (11) отримуємо:

$$D_S = R_H (1 - \cos \Theta) = \frac{c}{H_0} \frac{z}{z + 1}. \quad (15)$$

Тут враховано, що асимптотичне значення відстані при $D_S \rightarrow R_H$ збігається з результатом, отриманим за критерієм Габбла-Леметра. Відповідно до космологічного принципу, отриманий висновок можна поширити на КСВ усіх випромінювачів на лінії реєстрованих подій.

3.4. *Космічні відстані у ФЛРВ.* Відповідно до метрики ФЛРВ для Всесвіту, що розширюється

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1+r^2} + r^2 (d\vartheta^2 + \sin^2 \vartheta d\varphi^2) \right], \quad (16)$$

де $a(t)$ – масштабний фактор, а r, ϑ, φ – сферичні координати [1]. Враховуючи, що $a = (1+z)^{-1}$, отримують іншу формулу залежності від z відстані від спостерігача до випромінювача [1]:

$$D_F = \frac{c}{H_{0F}} \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}. \quad (17)$$

3.5. Порівняння космічних відстаней в АРМ та ФЛРВ. Для того, щоб формули (15) та (17) давали однакові значення віддалі $D_S = D_F$ при однакових z необхідно, щоб

$$H_{0F} = H_0 \frac{(z+1)((z+1)^2 - 1)}{z((z+1)^2 + 1)}. \quad (18)$$

Формула (18) має максимум $H_{0F} = 1,2H_0$ при $z = 1,418$. У [13] (р. 27, fig. 16) наведено результати астрономічних спостережень, які в межах $0 < z < 1,5$ відповідають розрахункам, що виконані відповідно до формули (18).

У [2] (р. 33, Fig. 7, right) подано дані астрономічних вимірювань параметра Габбла для діапазону $D_F = (0,04 \div 0,18)R_H$. Розрахунки відповідно до Λ CDM-моделі показують, що в цьому діапазоні параметра Габбла менший від H_0 , тобто не узгоджується з формулою (17). Більше того, швидкість розширення Всесвіту змінна.

У КСВ більш інформативним, поряд із z , є використання безрозмірної змінної x , що характеризує відносний радіус R_S фронту розширення Всесвіту: $x = R_S R_H^{-1}$. Оскільки в КСВ $R_S = R_H x$, $x = (z+1)^{-1} = \cos \Theta$, $DS = 1 - x$, $DF = (1 - x^2)(1 + x^2)^{-1}$, а

$$DIF(x) = \frac{d(DS - DF)}{dx} - 1 + 2x(1 + x^2)^{-1} + 2x(1 - x^2)(1 + x^2)^{-2},$$

для аналізу швидкості розширення Всесвіту відповідно до формули (17), порівняємо швидкості зміни DS , DF та $DS - DF$ хід яких наведено на рис. 3.

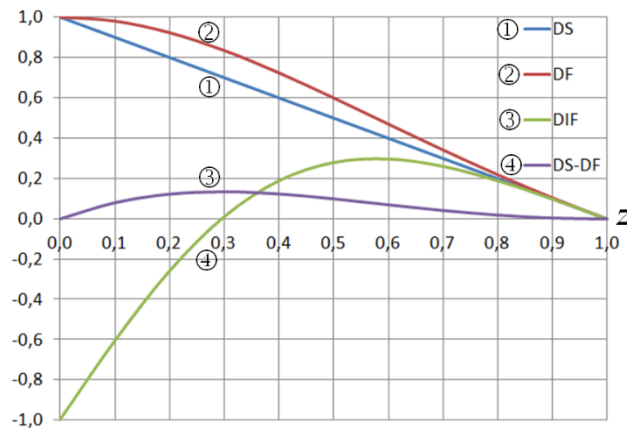


Рис. 4. Хід залежностей DS , DF , $DS - DF$ та $DIF(x)$.

Якщо в АРМ залежність $DS(x)$ лінійна, тобто швидкість розширення Всесвіту незмінна, то в ФЛРВ залежність $DF(x)$ нелінійна. Для перевірки формули (17) порівняємо швидкість зміни величин DS та DF , утворивши їхню різницю $DS - DF$. Із ходу кривої $DIF(x)$ на графіку рис. 3 випливає, що використання формули (17) еквівалентне сповільненню швидкості розширення Всесвіту до радіусу його фронту $R_S < 0,3R_H$ (при зменшенні z до $z = 2,4$) та пришвидшенню його розширення при $z < 2,4$ (тобто, вже при $R_S > 0,3R_H$). Отже, спостережуване нерівномірне розширення Всесвіту не є результатом фізичних впливів, а лише артефактом апарату ФЛРВ. Дійсно, на відміну від АРМ, у ФЛРВ виходять з гіпотези, що лінія реєстрованих подій є прямою. З іншого боку, можливий також вплив викладених у підрозділі 1.5 обмежень на використання апарату 3+1-вимірного простору-часу, чи перевипромінювання КМФ на значних об'ємах реіонізованого водню.

Висновки.

Для моделювання Всесвіту, де присутні як спостережувані частинки, так і частинки холодної темної матерії та темної енергії, запропоновано використовувати альтернативний апарат релятивістської механіки в евклідовому 4-просторі, в якому наявні засоби опису усіх різновидів частинок. Показано, що вибір виділеної за Г. А. Лоренцом системи відліку обмежує застосування у релятивістській механіці апарату простору-часу. Отримано нову формулу зв'язку параметра зсуву

спектру з 4-вимірною відстанню до космічних об'єктів. Для пояснення зсуву спектру випромінювання зірок та КМФ замість формули Доплера запропоновано гіпотезу космологічної натуралізації фотонів.

Список бібліографічного опису:

1. Weinberg S. Cosmology (Oxford University Press, 2008).
2. Aghanim N. et al. [Planck 13] arXiv:1303.5076v3 [astro-ph.CO] 20 Mar 2014.
3. Krishnan C. et al. arXiv:2105.09790v3 [astro-ph.CO] 24 Aug 2021.
4. Kang Y. et al. arXiv:1912.04903v2 [astro-ph.GA] 18 Jan 2020.
5. Lämmerzahl C, Braxmaier C. et al. Kinematical Test Theories for Special Relativity: a comparison. International Journal of Modern Physics D. 11 (8): (2002), pp. 1109–1136. doi:10.1142/S021827180200261X
6. Дирак П. А. М. Принципы квантовой механики (Наука, М., 1979).
7. Pasternak R. Means of the restrictions elimination of the space-time apparatus in relativistic mechanics. Вісник ТНТУ, № 1 (89), 2018, с. 64-71.
8. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля (Наука, М., 1988).
9. Окунь Л. Б. Физика элементарных частиц (Наука, М., 1988).
10. Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия в современной физике // Эйнштейн А. Сборник научных трудов. Наука, М., 1965. Т. 1, с. 138-164.
11. Smoot G. F. UFN. 177, 12 (2007). <https://doi.org/10.3367/UFNr.0177.200712d.1294>.
12. Riess A. G. et al. Astrophys. J. 826:56, 2016, 20 Jul DOI <https://doi:10.3847/0004-637X/826/1/56>.
13. Aghanim N. et al. [Planck 2018 results] arXiv:1807.06209v4 [astro-ph.CO] 9 Aug 2021.

References:

1. Weinberg S. Cosmology (Oxford University Press, 2008).
2. Aghanim N. et al. [Planck 13]. arXiv:1303.5076v3 [astro-ph.CO] 20 Mar 2014.
3. Krishnan C. et al. arXiv:2105.09790v3 [astro-ph.CO] 24 Aug 2021.
4. Kang Y. et al. arXiv:1912.04903v2 [astro-ph.GA] 18 Jan 2020.
5. Lämmerzahl C, Braxmaier C. et al. Kinematical Test Theories for Special Relativity: a comparison. International Journal of Modern Physics D. 11 (8): (2002), pp. 1109–1136. doi:10.1142/S021827180200261X
6. Dirac P. A. M. Printsipyi kvantovoy mehaniki (Nauka, M., 1979).
7. Pasternak R. Means of the restrictions elimination of the space-time apparatus in relativistic mechanics. Visnyk TNTU, No 1 (89), 2018, с. 64-71.
8. Landau L. D. Lifshits E. M. Teoriya polya (Nauka, M., 1988).
9. Okun L. B. Fizika elementarnykh chastits (Nauka, M., 1988).
10. Einstein A. Printsip otноситel'nosti i ego sledstviya v sovremennoy fizike. // Einstein A. Sbornik nauchnykh trudov. Nauka, M., 1965. T. 1, s. 138-164.
11. Smoot G. F. UFN. 177, 12 (2007). doi.org/10.3367/UFNr.0177.200712d.1294.
12. Riess A. G. et al. Astrophys. J. 826:56, 2016, 20 Jul: DOI <https://doi:10.3847/0004-637X/826/1/56>.
13. Aghanim N. et al. [Planck 2018 results] arXiv:1807.06209v4 [astro-ph.CO] 9 Aug 2021.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-25>

UDC 004.9

Petrashenko Andrii, PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0003-0239-1706>

Liu Yang, Student

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

LIFT ENGINEERING EQUIPMENT EVENT LOG DATA ANALYSIS

Petrashenko A., Liu Yang. Lift Engineering Equipment Event Log Data Analysis. This paper is devoted to the collection and analysis of log files of lift engineering equipment, considering their technical complexity and significant impact on the safety of their use. The usage of log analysis can quickly identify and resolve problems, keeping elevators functional, extending service life, and increasing passenger safety. Using a log file of a real IoT monitoring system, the study provides baseline statistics, revealing information about event distribution and hardware status. The analysis focuses on the "Elevator Power On/Off" event type, focusing on the average time for the equipment to transition from an emergency state to a normal state, as well as calculating the probability of remaining in an operating state for 1, 12, or 24 hours. The results highlight the different transition times between the equipment under consideration, providing valuable information for maintenance planning and resource optimization.

Keywords: Internet of Things, monitoring system, log files analysis, survival function, Kaplan-Meier estimator

Петрашенко А.В., Лю Янг. Аналіз даних журналу подій ліфтового інженерного обладнання. У даній роботі розглядаються питання збору та аналізу файлів журналів інженерного обладнання ліфтів, враховуючи їх технічну складність і значний вплив на безпеку користування ними. Використання аналізу журналів дозволяє оперативно виявляти та оброблювати аварійні ситуації, забезпечуючи функціональність ліфтів, продовжуючи термін служби та підвищуючи безпеку пасажирів. Використовуючи файл журналу реальної системи моніторингу в галузі «Інтернету речей», дослідження надає базову статистику, розкриваючи інформацію про розподіл подій і стан обладнання. Аналіз зосереджується на типі події «Ввімкнення/вимкнення живлення ліфта», акцентуючи увагу на середньому часі переходу обладнання з аварійного до нормального стану, а також на розрахунку імовірності залишитись у справному стані протягом 1, 12 або 24 годин. Результати підкреслюють різний час переходу між обладнанням, що розглядається, надаючи цінну інформацію для планування технічного обслуговування та оптимізації ресурсів.

Ключові слова: інтернет речей, система моніторингу, аналіз файлів журналів, функція виживання, оцінка Каплана-Майєра

Introduction. Among the other crucial components of the modern lift-oriented technical infrastructure, the monitoring system of lift engineering equipment is important for several critical reasons. Firstly, it plays a pivotal role in ensuring the optimal and safe performance of elevators by providing real-time monitoring of key parameters such as power usage, door operations, and motor performance [1]. This constant surveillance allows for the early detection of anomalies or irregularities in elevator components, triggering timely alerts for investigation and preventive measures. Another significant aspect is the system's ability to swiftly identify faults within the elevator system and offer detailed diagnostics. This facilitates quick problem resolution and contributes to predictive maintenance, wherein the system analyzes performance data to predict potential failures or maintenance needs. This proactive approach minimizes unexpected downtime, enhances reliability, and extends the overall lifespan of the elevator. Capturing and logging a wealth of data related to elevator operations, the monitoring system serves as a valuable resource for performance analysis, trend identification, and decision-making. Many systems offer remote access capabilities, allowing for monitoring and control from a central location, facilitating quicker response times and reducing the need for on-site interventions.

The urgency of solving the problems of collecting and analyzing information obtained from elevator engineering equipment in the form of log files is important due to the high degree of technical complexity and significant impact on the safety and convenience of building operation. This technique allows not only to promptly detect and solve problems in the operation of elevators, ensuring their uninterrupted work and extending their service life, but also contributes to increasing the level of safety for users [2]. In addition, the possibilities opened up by log analysis, such as automated control and efficiency optimization, are becoming key to modern infrastructure management and maintaining high standards of functionality of elevator systems in modern buildings. This approach is critical in the context of fast-paced urban development and the construction industry, where the reliability and safety of elevators are important aspects of comfort and safety for their users.

Related works. The general architecture of a lift-oriented monitoring system consists of sensors, central or distributed processing unit, communication modules, data storage and monitoring core software. The sensors capture real-time data on motion, door status, weight, and other relevant parameters. The

processing unit allows to handle, process and aggregate the data, received from the sensors. Data storage allows to store and access the data efficiently using modern SQL/NoSQL database engines. Monitoring software provides the user interface allowing to interact with an end user giving him a sophisticated dashboard, visualization means etc.

The logs play a crucial role for recording and storing a comprehensive history of events, activities and performance metrics related to the lift operations. In the work [3] authors highlight Run-to-Failure, Preventive Maintenance and Predictive Maintenance (PdM) techniques of technical management. They state that Machine Learning methods have been emerged as a promising tool in PdM applications to prevent failures in equipment. The authors of [4] proposed obtaining patterns from log records, and set corresponding rules to deal with logs in certain patterns which significantly improve the efficiency of distributed and cloud-based log analysis. J.Horalek and others in [5] proposed a log collection and analysis using the hybrid Elastic based and Kubernetes technologies. Nevertheless, previous work with an emphasis on data analysis of elevator events indicates the need for further improvement of methods and tools.

Problem statement. The purpose of this publication is to explore the capabilities of collecting and analyzing basic statistics obtained from the elevator equipment event log [6]. In particular, it is intended to investigate the relationships between various events by the types, their characteristics and time indicators like a timestamp. The main emphasis is on understanding the operational state of the equipment (functioning or failure) and its identification in the context of the occurrence of specific events. With the help of this analysis, we aim to improve maintenance strategies, predict possible malfunctions and ensure more efficient management of elevator equipment.

The description of the research. In this paper the authors have analyzed a log file gathered from the real IoT monitoring system during approximately 1-year of 24/7 monitoring of engineering equipment. The dataset, derived from lift engineering equipment event logs, contains a comprehensive record of events spanning a considerable timeframe. The first few rows of the dataset provide a snapshot of the data (see fig.1), revealing details such as the timestamp of events (date_time), the type of event (event_type), a description of the event (event_text), the unique identifier of the equipment (equipment_id), and the corresponding equipment state (equipment_state).

date_time	event_type	event_text	equipment_id	equipment_state
31.10.2022 10:34	4	Elevator power is on	9	1
31.10.2022 10:35	4	Elevator power is on	13	1
31.10.2022 10:36	6	The cabin door is open	136	0
31.10.2022 10:36	6	The cabin door is open	242	0
31.10.2022 10:36	6	The cabin door is open	8	0
31.10.2022 10:36	6	The cabin door is open	362	0
31.10.2022 10:39	4	Elevator power is on	317	1
31.10.2022 10:39	4	Elevator power is on	318	1
31.10.2022 10:39	4	Elevator power is on	257	1
31.10.2022 10:39	5	The doors of MP are open	428	0

Fig. 1. A snapshot of the dataset

Upon conducting basic statistical analyses, several noteworthy insights emerge. The dataset comprises a total of 306,915 entries, with a diverse range of event types, spanning from 4 to 10 (see Table 1). The event_type distribution indicates that certain events, such as event type 4, are more frequent than others, shedding light on the prevalence of specific activities within the lift engineering context.

Table 1. Distribution of Event Types

Event Type	Event Text	Total Count	Failure Count
4	Elevator power is on/off	106365	55300
5	The engine room door is open/close	21491	10575
6	The cabin door is open/close	16610	16610

8	Exists/No phase A electrical supply	52025	39896
9	Exists/No phase B electrical supply	57910	31574
10	Exists/No phase C electrical supply	52514	25427

In terms of equipment states, the dataset showcases a balance between operational states (equipment_state equals to 1) and states indicating a malfunction or failure (equipment_state equals to 0). Approximately 127,533 entries indicate the equipment is in working order, while 179,382 entries suggest equipment failure.

Examining the numerical features, the dataset's temporal span ranges from October 31, 2022, to October 9, 2023. The mean event_type is approximately 6.83, with a standard deviation of 2.43, indicating a moderate level of variability in event types. The equipment_id values range from 1 to 476, and the equipment_state reveals an average operational state of around 41.55%.

No missing values are observed in any of the columns, ensuring the dataset's completeness and reliability for analysis. Additionally, the distribution of unique values in each column provides an overview of the dataset's diversity, with 132,001 unique timestamps, six distinct event types, 12 unique event descriptions, and 476 unique equipment identifiers.

Elevator power on/off analysis

This algorithm is designed to analyze and compare the average transition times of state changes in engineering equipment, focusing on events with event_type=4 (Elevator power on/off). By identifying the equipment with the quickest, longest, and middle-range state transitions, it provides insights into potential performance issues, operational efficiency, and overall reliability of the equipment. This information can be valuable for maintenance planning, resource optimization, and proactive decision-making, ultimately contributing to enhanced operational effectiveness and reduced downtime in lift engineering systems.

The algorithm begins by loading data from a CSV file containing timestamped events with relevant information such as event type, equipment state, and equipment ID. It specifically focuses on events with event_type=4. The data is then filtered, sorted chronologically by equipment and time, and time differences between consecutive transitions are calculated.

To facilitate analysis, the time differences are converted to seconds. The algorithm proceeds to calculate the average transition times for each equipment by grouping data based on equipment ID. The resulting average times are sorted, and the top 3 equipment with the quickest transitions and the top 3 with the longest transitions are identified.

Additionally, the algorithm selects a set of 3 equipments in the middle in terms of average transition times. These three sets of equipment (quickest, longest, and middle 3) are then formatted into human-readable timespans and presented in tabular form.

The results

The results which are presented in the table 2 shows that the time it takes for equipment to switch from one state to another can differ a lot. Some equipment does it really quick, like in a few seconds, while others take much longer, sometimes hours. It's important to find out why some equipment takes so much time, maybe because of maintenance or specific ways they work or they are maintained. This information helps technical managers organize the equipment work and maintenance better and more efficiently.

Table 2. Quickest, Longest and Middle 3 Transitions

Number	Quickest Transitions		Longest Transitions		Middle 3 Transitions	
	Equipment ID	Average Transition Time	Equipment ID	Average Transition Time	Equipment ID	Average Transition Time
1	461	00:00:07	166	43:55:57	141	05:11:16
2	369	00:00:08	385	36:08:42	8	05:13:05
3	207	00:00:10	364	35:14:38	126	05:15:28

The subsequent focus of our research delves into the challenging yet crucial task of predicting when the next failure event will transpire within the elevator system. This problem inherently falls under the domain of time-to-event or survival analysis [7], a statistical methodology widely employed to forecast the

duration until a specific event of interest unfolds. In our specific context, the event of interest revolves around the prediction of when the next failure event will occur for a designated equipment, which entails assessing the time until the equipment_state transitions to 0, indicative of an impending failure.

To tackle this predictive challenge, we leveraged the 'lifelines' library [8], a powerful survival analysis toolkit designed for implementation in the Python programming language. Survival analysis, particularly employing the Kaplan-Meier estimator, serves as the cornerstone of our predictive modeling approach. This estimator is employed to calculate the survival function, offering insights into the probability of an equipment surviving (not experiencing failure) beyond a specific point in time.

The 'lifelines' library's robust capabilities enable us to construct survival curves, visualize the probability distribution of failure events over time, and extract valuable insights into the reliability and resilience of individual equipment units. By considering the temporal dimension and the probability of equipment failure, our approach enhances our ability to implement proactive maintenance strategies, allocate resources judiciously, and ultimately contribute to the overarching goal of minimizing downtime and optimizing the overall performance of elevator systems. Through this predictive analysis, we aim to provide stakeholders with actionable information that empowers them to implement targeted interventions, thereby fostering a more resilient and dependable elevator infrastructure.

Table 3. The survival analysis of the Elevator power on/off event

Equipment ID	Survival Probability		
	Survive in 1 hour	Survive in 12 hours	Survive in 24 hours
461	0.70	0.64	0.58
369	0.83	0.83	0.83
207	0.77	0.63	0.59
166	0.96	0.84	0.24
385	0.93	0.51	0.34
364	0.92	0.76	0.60
141	0.89	0.44	0.24
8	0.84	0.75	0.71
126	0.91	0.56	0.39

The results provided in the table 3 indicate the varying survival probabilities for different equipment IDs at different time intervals, reflecting the reliability and resilience of each piece of equipment. Some equipment demonstrates consistent high survival probabilities, suggesting robust performance, while others experience rapid declines, highlighting potential vulnerabilities.

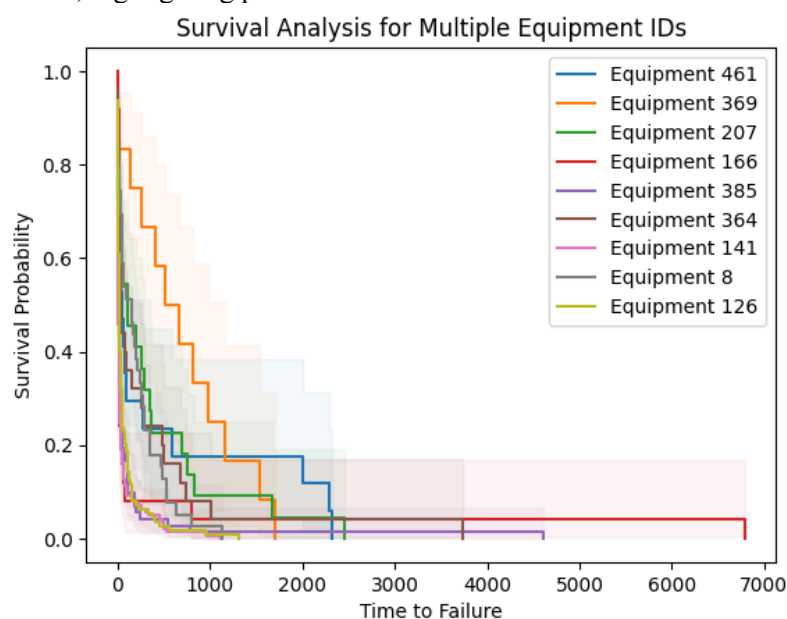


Fig.2. Survival Analysis for Multiple Equipment

The survival analysis for equipment with quickest, lowest and middle transition time are shown in the fig.2. The results support the idea that in first hour the equipments from all groups show quite high survival rate (>70%) while later in 12 hours there are worse results indicating the reveal of some equipment failures (>44%). Having such kind of information about the survivance of lifts the engineers along with managers can predict the upcoming problems with equipment and to plan the maintenance procedures.

Conclusions

This study focused on collecting and analyzing log files from elevator engineering equipment, considering its technical characteristics. Log analysis proved instrumental in swiftly identifying and resolving issues, ensuring elevator functionality, prolonging service life, and enhancing user safety. The research aimed to enhance maintenance practices by exploring relationships among events, their characteristics, and timestamps. Utilizing a log file from a real IoT monitoring system, the study presented baseline statistics, highlighting the event distribution and equipment status. Specifically, focused on the "Elevator Power On/Off" event type, the analysis concentrated on average transition times, aiming for more efficient control and improved equipment performance. The results underscored varied transition times across equipment, offering valuable insights for maintenance planning and resource optimization.

Prospects for further research

Having the access to diverse datasets and practical insights, there are a lot of area for the further research. Firstly, we can delve into more advanced predictive modeling techniques, exploring beyond the Kaplan-Meier estimator to leverage the capabilities of deep learning models for enhanced failure event predictions. A dynamic maintenance scheduling algorithm could be developed, adapting interventions based on real-time equipment health, optimizing resource allocation, and minimizing downtime. Additionally, a comprehensive cost-benefit analysis considering factors like downtime, maintenance costs, and overall impact on building operations could guide the formulation of cost-effective maintenance approaches.

References

1. A. Gorin and P. Riva, "IoT Safety Predictive Monitoring of Lift Operations Shafts and Buildings", 13th Symposium on Lift & Escalator Technologies, vol. 13, no. 1, pp. 101-112, 2022.
2. M. Fahim and A. Sillitti, "Anomaly Detection, Analysis and Prediction Techniques in IoT Environment: A Systematic Literature Review," in IEEE Access, vol. 7, pp. 81664-81681, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2921912.
3. Thyago P. Carvalho, Fabrizzio A. A. M. N. Soares, Roberto Vita, Roberto da P. Francisco, João P. Basto, Symone G. S. Alcalá, A systematic literature review of machine learning methods applied to predictive maintenance, Computers & Industrial Engineering, Volume 137, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106024>.
4. Y. Zhao and H. Xiao, "Extracting Log Patterns from System Logs in LARGE," 2016 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW), Chicago, IL, USA, 2016, pp. 1645-1652, doi: 10.1109/IPDPSW.2016.110.
5. Jun Mao, Lin Chen, Hui Cheng, and Chenhuan Wang "Elevator fault diagnosis and maintenance method based on Internet of Things", Proc. SPIE 12793, International Conference on Mechatronics and Intelligent Control (ICMIC 2023), 1279305 (26 September 2023); <https://doi.org/10.1117/12.3006383>
6. Jiaqi Hao, Jinhai Xu, Chaochao Bao, et al. Research on Fault Diagnosis of Elevator Drum Brake Based on VMD and SVM [J]. Mechanical and Electrical Engineering, 2022, 39(1):112-119.
7. "Survival Analysis" Datatab, <https://datatab.net/tutorial/survival-analysis/>. Accessed 12 Nov. 2023.
8. "Lifelines". <https://lifelines.readthedocs.io/en/latest/>. Accessed 12 Nov. 2023.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-26>

УДК 004.415.3

Пех Петро Атонович, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-6327-3319>**Бортник Катерина Яківна**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0001-5282-099X>**Шепелюк Дмитро Леонідович**, магістрант**Шепелюк Леонід Дмитрович**, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МОВНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ГОЛОСОВОГО АСИСТЕНТА МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ

Пех П.А., Бортник К.Я., Шепелюк Д.Л., Шепелюк Л.Д. Обґрунтування вибору мовної моделі для розроблення голосового асистента мобільного додатку. В статті запропоновано мобільний додаток на базі вибраної мовної моделі для голосового управління розумним домом і наведені результати досліджень якості розпізнавання голосу за допомогою цього додатку.

Ключові слова: Розумний дім, систем розпізнавання мовлення, голосовий асистент, нейронна мережа

Pekh P., Bortnyk K., Shepelyuk D., Shepelyuk L. Rationale for choosing a language model for the development of a mobile application's voice assistant. The article proposes a mobile application based on a neural network for voice control of a smart home and gives the results of research on the quality of voice recognition using this application.

Keywords: Smart home, speech recognition systems, voice assistant, neural network.

Постановка задачі. У теперішній час голосові асистенти стали невід'ємною частиною комп'ютерно-інформаційних технологій, пропонуючи широкий спектр функцій від голосового пошуку до управління розумним домом [1]. Однак існуючі голосові асистенти не є ідеальними, і їхні недоліки можуть негативно впливати на роботу пристроїв – у тому числі пристроїв розумного дому [2].

Серед найбільш популярних голосових асистентів на сьогоднішній день варто відзначити такі, як Google Assistant, Amazon Alexa, Apple Siri та Microsoft Cortana [3]. Ці голосові асистенти відомі своєю високою якістю розпізнавання мовлення та широким спектром функцій, однак вони мають і певні недоліки, а саме:

- Недостатня точність розпізнавання мовлення. Багато голосових асистентів, зокрема Google Assistant та Siri, можуть допускати помилки у розпізнаванні мовлення, особливо у разі наявності акцентів, специфічних особливостей мовлення або в умовах підвищеного шуму [3].

- Залежність від Інтернету. Amazon Alexa та Google Assistant, наприклад, вимагають для роботи стабільного підключення до Інтернету, що стає серйозною перешкодою в умовах нестабільного зв'язку або повільного Інтернету [3].

- Загрози конфіденційності. Усі популярні голосові асистенти зберігають та обробляють аудіодані користувачів на спеціальних серверах, що може породжувати питання щодо конфіденційності та безпеки особистої інформації [2].

У зв'язку з наведеним вище, вважаємо актуальним завданням створення мобільного додатку на базі нейронних мереж для голосового управління розумним домом, і проведення дослідження процесу, як саме додаток впливає на якість розпізнавання голосу.

Метою дослідження було створити мобільний додаток на базі нейронної мережі для голосового управління розумним домом і провести дослідження якості розпізнавання голосу на базі цього додатку.

Новизна дослідження полягає у тому, що для побудови мобільного додатку використовуються сучасні нейронні мережі, що, на нашу думку, певною мірою забезпечує ефективність його роботи.

Основна частина. Для управління пристроями розумного дому потрібно мати систему, яка складається з таких елементів:

- Голосові асистенти, такі як Amazon Alexa[5], Google Assistant[8] або Apple Siri[4], які можуть служити інтерфейсом для взаємодії та видачі команд пристроям розумного дому за допомогою голосу.

- Центральний контролер та мережу, які встановлюються у будинку і координують взаємодію між різними пристроями системи.

- Мобільний додаток для керування пристроями розумного дому віддалено, навіть якщо ви не знаходитесь вдома.

Якщо пристрої розташовані недалеко від приміщення (теплиця, басейн та інше), або знаходяться поза зоною досяжності Wi-Fi, можна використовувати Bluetooth для з'єднання та керування ними. Багато сучасних пристроїв розумного дому підтримують Bluetooth-протокол. Але для цього потрібно розробити мобільний додаток з голосовим асистентом для управління пристроями, який зможе працювати offline, використовуючи Bluetooth.

Завдання дослідження полягає в тому, щоб дослідити, які мовні моделі найкраще підходять для створення голосового асистента для управління пристроями розумного дому, розробити мобільний додаток з використанням різних мовних моделей та дослідити якість розпізнавання в режимі offline.

Центральним елементом системи управління пристроями розумного дому є мобільний додаток. На рисунку 1 наведено спрощена функціональна схема системи голосового управління розумним домом.

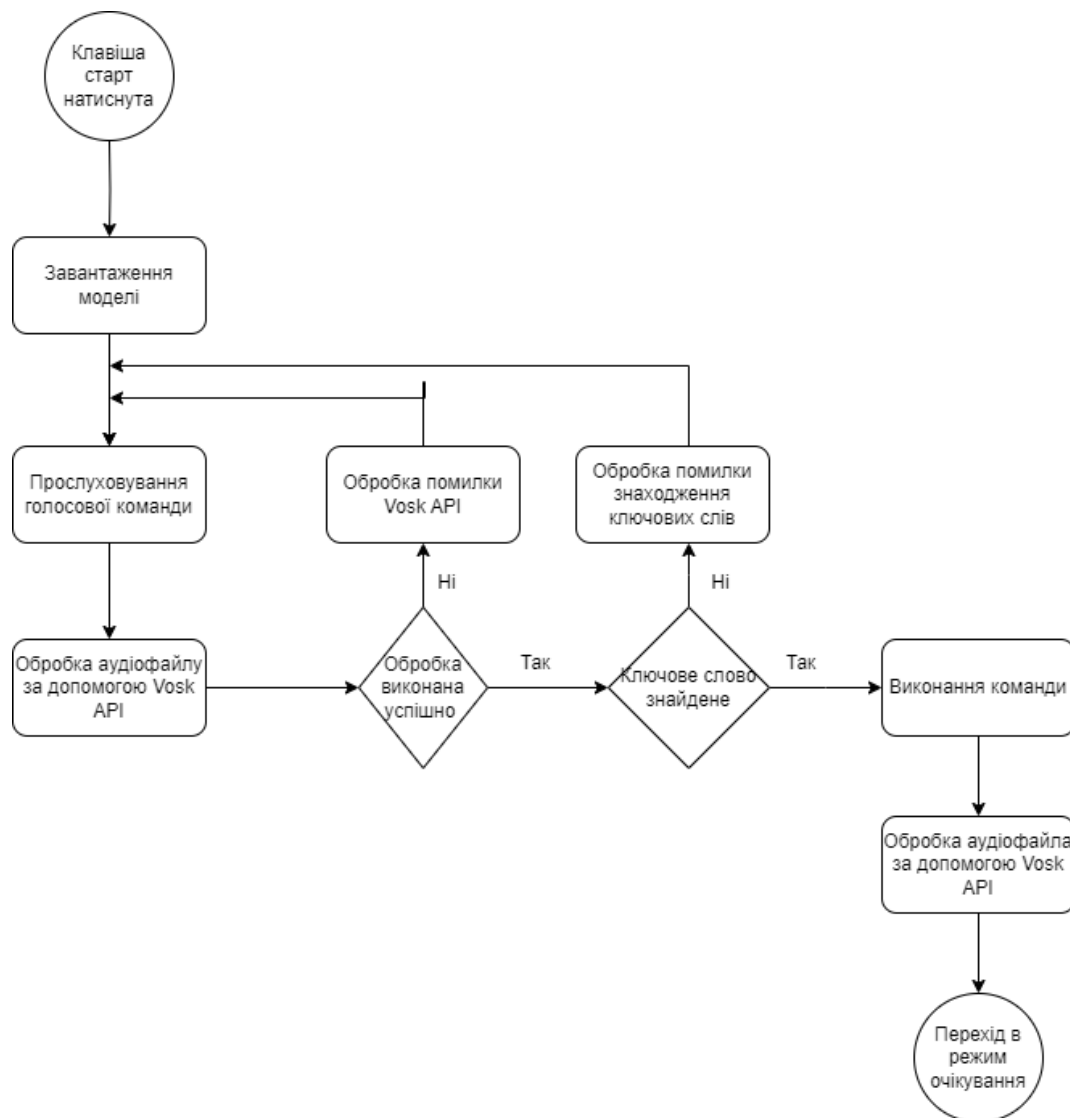


Рис.1. Спрощена функціональна схема системи голосового управління розумним домом

Аналіз та обґрунтування вибору мовної моделі для мобільного додатку. Основою системи розпізнавання голосових повідомлень є мовні моделі, розроблені із застосуванням згорткових або рекурентних нейронних мереж та машинного навчання. Наводимо деякі з них:

- DeepSpeech [6]. Відкрите програмне забезпечення для розпізнавання голосу від компанії Mozilla, використовує глибокі нейронні мережі (RNN) для розпізнавання мовлення. Модель DeepSpeech навчається за допомогою технік машинного навчання на великих обсягах аудіоданих.

- Wav2Vec 2.0 [10]. Модель для автоматичного розпізнавання мовлення, розроблена командою вчених від Facebook AI Research (FAIR). Ця модель використовує трансформери та призначена для ефективного розпізнавання мовлення на основі аудіоданих.

- Google Cloud Speech-to-Text [8]. Сервіс від Google для розпізнавання мовлення, яка надає API для використання в різних додатках.

- Kaldi [14]. Набір інструментів для розпізнавання мовлення, дозволяє робити розпізнавання мовлення для різних мов та в різних умовах. Це може бути використано для мов, які не є англійською, і для специфічних вимог в різних областях застосування. Однією з особливостей Kaldi є підтримка традиційних підходів до розпізнавання мовлення, а також впровадження техніки глибокого навчання для покращення якості розпізнавання.

- CMU Sphinx (PocketSphinx) [9]. Відкрите програмне забезпечення для розпізнавання мовлення від Carnegie Mellon University

Тестування проводилося на демо-версії розробника, або на основі рекомендованих шаблонів застосування.

Програма тестувалась чотирма користувачами. Для кожної моделі користувач промовляв вісім різних команди в умовах відносної тиші (за наявності незначного побутового шуму – музики, розмови, вуличного шуму), на відстанях: 30-40 см та 2 м.

Результати експериментальних досліджень (табл.2) були обчислені за формулою

$$K = \frac{\sum_j^m \sum_i^n a_{ij} * b_i}{k} * 100\% \quad (1)$$

де a_{ij} – j-та спроба i-го користувача;

b_i – ідентифікатор розпізнавання;

$b_i = [1 - \text{вдале розпізнавання } 0 - \text{невдале}]$;

m – кількість спроб ;

n – кількість користувачів;

k – кількість експериментів.

Таблиця 1 – Результати дослідження голосових моделей

Назва мовної моделі (сервісу)	Підтримка укр. мови	Вартість	Підтримка offline розпізнавання	Джерело Примітки	Якість розпізнавання % в умовах відносної тиші	
					Відстань 20 см	Відстань 200 см
1.vosk-model-uk-v3	так	Безоплатно	так	343Мб для серверних застосунків	96.13	90.24
2.vosk-model-small-uk-v3-nano	так	Безоплатно	так	73Мб для мобільних застосунків	96.35	91.46
3.Google S. R. - Android	так	Безоплатно	ні	вбудовано в смартфон	96.57	89.69

4. Google S. R. - Python	так	Безоплатно (60 хвилин)	ні	https://www.google.com/intl/en/chrome/demos/speech.html	95.32	90.54
5. Google Cloud Demo	—	0.96-2.16\$	ні	Потребує платного аккаунту	не тестувалась	
6. Yandex SpeechKit Demo	—	платний	ні	-	не тестувалась	
7. Web Speech - Chrome PC	так	Безоплатно	ні	Демо: https://www.google.com/intl/en/chrome/demos/speech.html	94.76	88.0
8. Web Speech - Android WV	так	Безоплатно	так	https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Speech_API	96.71	90.24
9. Sphinx - Python	ні	Безоплатно	так	https://www.sphinx-doc.org/en/master/англомовна підтримка	97.64 для англ.	91.17 для англ.
10. Amazon Transcribe	ні	1.44\$	ні	https://docs.aws.amazon.com/transcribe/latest/dg/custom-language-models.html Відсутня демо-модель	Не тестувалась	
11. Facebook wav2vec-U	так	Безоплатно	ні	https://www.cockatoo.com/	98.1	92.23

За результатами дослідження голосових моделей було зроблено висновок, що для offline розпізнавання голосових команд найкраще підійде модель vosk-model-small-uk-v3-nano, яка має такі переваги:

- невеликий об'єм 73Мб, що забезпечує економне використання оперативної пам'яті, а це важливо для мобільних пристроїв з обмеженими ресурсами;
- можливість роботи в режимі offline, що дозволяє підвищити швидкість розпізнавання та немає недоліків пов'язаних з передачею даних;
- розпізнавання української мови на рівні кращих моделей.

Алгоритм розробки голосового асистента.

Підготовка датасета. Датасет являє собою текстовий файл слідуєчої структури (рис. 2). Файл може містити до 10 000 рядків. Його легко модифікувати вручну за допомогою текстового редактора, або вбудованою функцією.

```
#Набір ключових слів, що служать ключем для запуску голосового асистента
TRIGGERS = {'маруся', 'мару', 'муся' }
'''Тренувальна модель для нейронної мережі'''
data_set = {
#'фраза': 'ім'я_функції_щобуде_її_опрацювати, коментар_асистента',
'яка погода': 'weather зараз подивлюся',
'як там на вулиці': 'weather погода чудова',
'скільки градусів': 'weather подивися у вікно, я скажу що на сайті',
'запусти браузер': 'browser запускаю браузер',
'відкрий браузер': 'browser запускаю браузер',
'закрийся': 'offBot відключаюсь',
'відключись': 'offBot відключаюсь',
'як справи': 'passive працюю, не переживай',
'що робиш': 'passive жду команди',
'привіт': 'passive і тобі не хворіти',
'ти тут': 'passive тихенько працюю',
'}
```

Рис.2. Структура датасету

Навчання моделі.

```
from sklearn.feature_extraction.text import CountVectorizer
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
import words #підготовлений датасет
```

Метод CountVectorizer з бібліотеки scikit-learn використовується для побудови векторів слів на основі текстових даних та класифікації цих даних за допомогою логістичної регресії (LogisticRegression). Алгоритм навчання наступний:

1. Створення об'єкту CountVectorizer, який буде відповідальний за токенизацію текстових даних та побудову векторів лічильників слів.

```
vectorizer = CountVectorizer()
```

2. Створення векторів слів із використанням методу fit_transform для отримання векторів слів з текстових даних, які містяться в словнику words.data_set.keys().

```
vectors = vectorizer.fit_transform(list(words.data_set.keys()))
```

3. Створення класифікатора логістичної регресії для класифікації текстових даних.

```
clf = LogisticRegression()
```

4. Навчання класифікатора. Використання методу fit для навчання логістичної регресії на отриманих векторах слів та відповідних класах, які містяться в dataset.

```
clf.fit(vectors, list(words.data_set.values()))
```

Аналізатор голосової команди. Функція розпізнавання отримує на вході датасет, підготовлений мовний вектор та натреновану модель виділяє з датасету ім'я функції та запускає опрацювання голосової команди.

```
from skills import *
import queue
q = queue.Queue()
device = sd.default.device # мікрофон та динаміки за замовчуванням
samplerate = int(sd.query_devices(device[0], 'input')['default_samplerate'])
''' Аналіз розпізнаної команди '''
def recognize(data, vectorizer, clf):
# перевіряє звернення до бота
trg = words.TRIGGERS.intersection(data.split())
if not trg: return
data.replace(list(trg)[0], '')
# порівнює текстовий вектор з подібними варіантами
text_vector = vectorizer.transform([data]).toarray()[0]
answer = clf.predict([text_vector])[0]
# визначає ім'я функції (команди) з dataset
func_name = answer.split()[0]
# озвучує коментар бота
voice.speaker(answer.replace(func_name, ''))
# запуск функції из власної бібліотеки skills
exec(func_name + '()')
```

Рис. 3. Фрагмент коду розпізнавання голосової команди

Фонове прослуховування. Голосовий асистент працює в фоновому режимі. Отримавши від мікрофону аудіопотік опрацьовує його за допомогою мовної моделі та передає текст на опрацювання функції

```
with sd.RawInputStream(samplerate=samplerate, blocksize = 16000,
                       device=device[0], dtype='int16',
                       channels=1, callback=callback):
    rec = vosk.KaldiRecognizer(model, samplerate)
    while True:
        data = q.get()
        if rec.AcceptWaveform(data):
            data = json.loads(rec.Result())['text']
            c(data, vectorizer, clf) #
        # else: print(rec.PartialResult())
```

Рис. 4. Фрагмент коду для організації фонового прослуховування аудіопотоку та опрацювання голосових повідомлень

Тестування голосового асистента

Програма тестувалась за умовами що і голосові моделі. Результати експериментальних досліджень були обчислені за формулою 1

Таблиця 2. Результати тестування

Відстань, см	Якість розпізнавання, % в умовах тиші	Відсоток розпізнавання, % за наявності побутових шумів
20	94,25	90,75
200	85,50	76,00

Висновки:

Створення власного голосового асистента дозволяє управляти пристроями безпосередньо на локальному рівні без використання мережі Інтернет, що усуває залежність від нестабільного Інтернет-з'єднання. Створюючи свого асистента, користувач має можливість персоналізувати функціонал під свої потреби та вимоги, що дозволяє отримати максимальну користь від системи управління розумним домом.

Розробка власного датасету для навчання моделі зменшує об'єм використання оперативної пам'яті додатком, дозволяє вести “живу” розмову з асистентом, не застосовуючи фіксованого порядку слів у команді.

Результати даного дослідження можуть бути використані під час проектування та розроблення голосових систем керування розумними будинками або в інших системах інтернету речей.

Список бібліографічного опису

1. Голосове управління: як технологія управління розумним будинком <https://www.smarthouse.ua/ua/golosovoe-upravlenie.html> (дата звернення 23.09.2023)
2. Робота з дому: голосовий помічник може стати причиною витоку даних. Malware Protection & Internet Security | ESET. URL: <https://www.eset.com/ua/about/newsroom/blog/data-protection/rabota-iz-doma-golosovoy-pomoshchnik-mozhet-stat-prichinoy-utechki-dannykh/> (дата звернення: 18.10.2023).
3. Що таке Siri. URL: <https://itech.co.ua/novyny/rozpovidaemo-shcho-take-sirii-ia-vona-pratsiuie/> (дата звернення 24.04.2023).

References

1. AI Comparison: Siri vs. Cortana vs. Google Assistant vs. Alexa. Business News Daily. URL: <https://www.businessnewsdaily.com/10315-siri-cortana-google-assistant-amazon-alexa-face-off.html> (date of access: 18.10.2023).
2. Alexa Voice Service. URL: <https://developer.amazon.com/en-US/docs/alexa/alexa-voice-service/get-started-with-alexa-voice-service.html> (дата звернення 22.04.2023).
3. DeepSpeech Playbook. deepspeech-playbook. URL: <https://mozilla.github.io/deepspeech-playbook/> (дата звернення: 17.11.2023).

4. Exploring wav2vec 2.0 on speaker verification and language identification | Semantic Scholar. Semantic Scholar | AI-Powered Research Tool. URL: <https://www.semanticscholar.org/reader/9a9d374d1dad72a0349c3a64be93660151274f41> (дата звернення: 17.11.2023).
5. Speech-to-Text: Automatic Speech Recognition | Google Cloud. Google Cloud. URL: <https://cloud.google.com/speech-to-text> (дата звернення: 17.11.2023).
6. CMUSphinx Open Source Speech Recognition. CMUSphinx Open Source Speech Recognition. URL: <https://cmusphinx.github.io/> (дата звернення: 17.11.2023).
7. Google Cloud Speech API URL: <https://fotc.com/blog/speech-to-text-what-is/> (дата звернення 23.09.2023).
8. Offline Speech Recognition with Vosk. URL: <https://blog.anuran.works/offline-speech-recognition-with-vosk> (дата звернення 27.09.2023).
9. Kaldi: Modules. Kaldi ASR. URL: <https://kaldi-asr.org/doc/modules.html> (date of access: 18.10.2023).
10. Normalization of Ukrainian letters, numerals, and measures for natural language processing. In: Digital Scholarship in the Humanities. Published online: 29 December 2022. DOI: 10.1093/llc/fqac090. URL: <https://academic.oup.com/dsh/advance-article-abstract/doi/10.1093/llc/fqac090/6965035>. (дата звернення 23.09.2023)
11. EXPLORING WAV2VEC 2.0 ON SPEAKER VERIFICATION AND LANGUAGE IDENTIFICATION Zhiyun Fan, Meng Li, Shiyu Zhou, Bo Xu Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, China School of Artificial Intelligence, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, China URL: <https://arxiv.org/abs/2012.06185> (дата звернення 23.09.2023)

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-27>

УДК 004.042

Пікуляк Микола Васильович, к. т. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-2192-1899>

Домбровський Станіслав Володимирович, магістр

Дутчак Марія Степанівна, викладач

<https://orcid.org/0000-0002-3337-5613>

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ, Україна

ВДОСКОНАЛЕННЯ АСИНХРОННОГО МЕТОДУ СЕРВІСНОЇ ВЗАЄМОДІЇ У ВЕБ-ДОДАТКАХ

Пікуляк М.В., Домбровський С.В., Дутчак М.С. Удосконалення асинхронного методу взаємодії сервісів у веб-додатках. Проведено порівняльний аналіз відомих протоколів асинхронної взаємодії сервісів, що дозволило виділити їхні позитивні та негативні сторони. Визначено напрямок покращення сервісної взаємодії у веб-додатках, направлений на розробку методу з використанням протоколу gRPC за рахунок генерації Java коду на основі описаних сервісів за допомогою повідомлень Protocol Buffers (protobuf). Виконано тестування розробленого методу у веб-додатку для анонімних дискусій, який надає можливість спілкуватись користувачам за допомогою чату. Отримано результати дослідження, які підтвердили ефективність застосування запропонованого методу, оскільки його використання дозволило при навантаженні зменшити як час створення об'єктів так і час обробки запитів до сервера. Також покращення дозволило збільшити пропускну здатність при великій кількості паралельних підключень. Визначено перспективи подальших досліджень, направлених на розробку нових методів покращення для інших мов програмування, які підтримують генерацію gRPC сервісів.

Ключові слова: протоколи сервісної взаємодії, метод покращення асинхронної взаємодії, веб-додатки, повідомлення protobuf.

Pikuliak M., Dombrovskyi S., Dutchak M. Improving the asynchronous method of service interaction in web applications. A comparative analysis of known protocols for asynchronous interaction of services was carried out, which made it possible to highlight their positive and negative sides. The direction of improving service interaction in web applications is determined, aimed at the development of a method using the gRPC protocol due to the of Java code based on the described services using Protocol Buffers (protobuf) messages. Testing of the developed method was performed in a web application for anonymous discussions, which provides an opportunity to communicate with users using chat. The results of the study were obtained, which confirmed the effectiveness of the proposed method, since its use made it possible to reduce both the time of creating objects and the time of processing requests to the server under load. Also, the improvement made it possible to increase the bandwidth with a large number of parallel connections. Prospects for further research aimed at developing new improvement methods for other programming languages that support the generation of gRPC services are determined.

Keywords: service interaction protocols, asynchronous interaction improvement method, web applications, protobuf message.

Вступ. У сучасному світі різного роду веб-додатки стають все популярнішими та охоплюють все ширші предметні області застосування. Вони надають різноманітні сервіси, послуги та можливості, такі як дистанційне навчання, онлайн-торгівля, соціальні мережі, онлайн-банківські послуги та багато іншого.

Як правило, функціонування будь-якого веб-додатку базується на основі клієнт-серверної технології. Тому виникає необхідність аналізу процесу взаємодії між клієнтом та сервером, оскільки це є критично важливим для успішної роботи додатку.

У зв'язку з цим сьогодні проводиться багато досліджень, метою яких є застосування асинхронних методів сервісної взаємодії, які дозволяють виконувати більш ефективні запити до сервера, використовуючи менше системних ресурсів та зменшуючи тривалість обробки.

Асинхронність є концепцією програмування, яка означає, що дії можуть виконуватися паралельно та незалежно одна від одної. У контексті веб-додатків, асинхронність полягає в тому, що обробка запитів клієнта відбувається паралельно з іншими запитами, що дозволяє зменшити час очікування відповіді та покращити продуктивність веб-додатку [1]. Це забезпечує користувачам швидке та зручне використання додатків, а також дає можливість зменшити навантаження на мережу та підтримує їх безпеку.

Використання асинхронних методів також може допомогти забезпечити розширюваність та простоту масштабування веб-додатка, що дозволяє йому працювати з більшим обсягом даних та більшою кількістю користувачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стосовно синхронної та асинхронної обробки запитів у веб-додатках на даний час є достатньо багато досліджень та розроблено ряд методів,

направлених на використання різного роду протоколів з метою покращення взаємодії між користувачами та сервісами [2].

Зокрема, в роботі [1] розглянуто можливості забезпечення надійності та безпеки застосування асинхронної технології, в [3] – проаналізовано можливість використання кешування результатів веб-сервісів для зменшення часу відповіді, в [4] – досліджено практичні аспекти взаємодії асинхронних методів у gRPC-додатках з використанням мови програмування Go.

Для забезпечення асинхронної взаємодії сервісів сьогодні використовуються такі відомі протоколи:

- gRPC: відкритий протокол, розроблений компанією Google. Він базується на протоколі HTTP/2 та підтримує різні мови програмування. gRPC використовує повідомлення Protocol Buffers для серіалізації даних та надає підтримку асинхронного програмування за допомогою промісів та потоків [5].

- WebSocket: протокол відкритого коду для двосторонньої комунікації між клієнтом та сервером в режимі реального часу [6]. Він може використовуватись для передачі різних типів даних, включаючи текст, бінарні дані, JSON, XML тощо. WebSocket також підтримує асинхронну взаємодію між клієнтом та сервером.

- MQTT: легкий протокол для IoT-пристроїв та мережі, який підтримує асинхронну взаємодію. MQTT використовує модель «підписки/публікації» для передачі повідомлень між клієнтами та серверами [7].

- AMQP: протокол для асинхронної взаємодії, який підтримує розподілену обробку та різні типи повідомлень. AMQP використовується для побудови великих систем з обробкою повідомлень та мікросервісів [8].

- Apache Kafka: розподілена платформа для обробки повідомлень, яка підтримує асинхронну взаємодію та забезпечує збереження повідомлень на сервері. Вона використовується для обробки великих потоків даних та побудови потужних систем з обробки повідомлень.

Постановка завдання. Вибір протоколу або фреймворку для асинхронної взаємодії сервісів залежить від конкретних потреб та напрямку проекту, оскільки описані протоколи мають свої переваги та недоліки. Наприклад, gRPC може бути корисним для веб-додатків, які характеризуються великою кількістю мікросервісів та потребують швидкої та ефективної взаємодії між ними. Він використовує бінарний формат обміну даними Protobuf, що зменшує розмір даних та збільшує продуктивність передачі.

WebSocket, з іншого боку, може бути корисним для веб-додатків, які потребують надійного та тривалого зв'язку між клієнтом та сервером, з можливістю обміну даними в режимі реального часу.

Перевагою AMQP є забезпечення захисту повідомлень за допомогою шифрування та автентифікації, що важливо для програм, де безпека даних є ключовою. Kafka забезпечує високий рівень надійності, завдяки реплікації та розподіленій архітектурі.

Тому подальші дослідження асинхронних методів сервісної взаємодії у веб-додатках, направлених на підвищення продуктивності та ефективності їх використання, покращення користувацького досвіду є актуальною задачею, яка потребує подальших як теоретичних розробок так і практичних вдосконалень.

Метою даної статті є розробка методу для покращення асинхронної взаємодії веб-сервісів з використанням протоколу gRPC на основі генерації Java класів, що дозволить підвищити швидкість обробки запитів та зменшити час очікування відповідей від сервера.

Викладення основного матеріалу дослідження. Для реалізації покращеного протоколу gRPC було розроблено веб-додаток, який дозволяє забезпечити асинхронну передачу даних від клієнта до сервера та між сервісами додатку при одночасному використанні. За основу для покращення було обрано додаток для анонімних дискусій, спілкування між користувачами в якому організовано за допомогою чату.

Запропонований клієнт-серверний додаток побудований на основі фреймворку SpringBoot та протоколів gRPC та Protobuf, додатково використано протокол WebSocket для отримання актуальної інформації для чатів. Така архітектура дозволяє з легкістю контактувати з веб-фронтом за допомогою REST підходу та слідкувати за правильною роботою додатку. З іншої сторони веб-сервіс контактує з допоміжними чат-сервісом і логін-сервісом за допомогою протоколу gRPC та отримує відповідну інформацію (рис. 1).

Для зберігання інформації про чати, клієнтів та питання було використано базу даних PostgreSQL та створено відповідні таблиці `chats`, `chat_clients`, `chat_questions`. Перевагою використання PostgreSQL є те, що доступ з програм до бази даних здійснюється за допомогою спеціального процесу, під час якого клієнтські програми не можуть отримувати самостійний доступ до даних навіть у тому випадку, якщо вони функціонують на тому самому ПК, на якому здійснюється серверний процес.

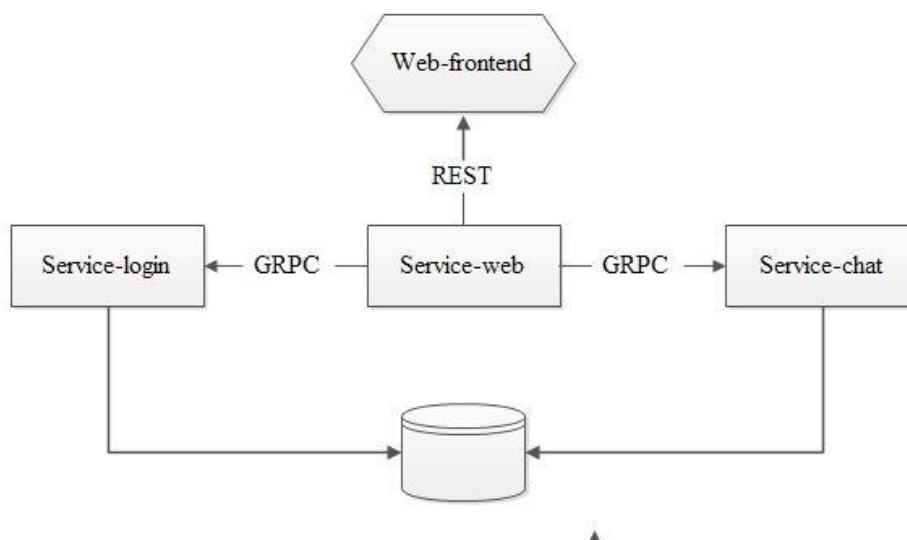


Рис. 1. Архітектура веб-додатку

Пересилка повідомлень Protocol Buffers (protobuf) за допомогою протоколу gRPC в програмному вигляді відбувається шляхом використання автоматично згенерованих клієнтських та серверних класів, створених на основі оголошень сервісу та повідомлень у файлах `.proto`.

Повідомлення protobuf представляються у бінарному компактному форматі. Кожен тип даних та повідомлення мають свій внутрішній байтовий формат для серіалізації та десеріалізації даних (табл.1):

Таблиця 1. Групи змінних у байтовому форматі

Тип	Значення	Використовується для
0	Varint	int32, int64, uint32, uint64, sint32, sint64, bool, enum
1	64-bit	fixed64, sfixed64, double
2	Length-delimited	string, bytes, embedded messages, packed repeated fields
3	Start group	groups (застарілий тип)
4	End group	groups (застарілий тип)
5	32-bit	fixed32, sfixed32, float

У protobuf кожен елемент даних має свій ключ (ціле число), яке ідентифікує елемент і тип даних, який визначає, які дані можуть бути включені в цей елемент. Типи даних включають цілі числа, змінні довжини, фіксовані довжини, числа з рухомою комою, булеві значення і рядки.

Однією з ключових особливостей gRPC є можливість генерувати клієнтський код різними мовами, такими як C++, Java, Python [9].

Цей код генерується компілятором protoc з файлів `.proto`. Згенерований код для класів Java на основі Protobuf може містити наступні методи:

1. Getters і Setters методи – для кожного поля в схемі Protobuf генерується відповідний метод доступу для отримання значення поля (getter) і метод для зміни значення поля (setter).
2. Методи серіалізації та десеріалізації – зазвичай генеруються методи для перетворення

об'єкта у формат Protobuf (серіалізація) і методи для аналізу даних, відформатованих Protobuf у внутрішню структуру об'єкта (десеріалізація).

3. Методи для порівняння об'єктів – генерується метод для порівняння двох об'єктів на рівність або нерівність.

4. Конструктори – генеруються конструктори для об'єктів, що дозволяє ініціалізувати об'єкт з відповідними значеннями.

5. Інші допоміжні методи – в залежності від фреймворка та специфікацій можуть генеруватися інші допоміжні методи для роботи з даними у форматі Protobuf.

На перший погляд, gRPC здавався ідеальним рішенням, але є певні проблеми, не прямо пов'язані з gRPC або Protobuf, але з виборами, зробленими конкретно в генерованому коді. Було вирішено покращити генерацію коду для структур з пакету com.google.protobuf, оскільки функціонал можна залишити незмінним, але спростити структуру класів. Структури, для яких вирішено покращити генерацію: DoubleValue, FloatValue, Int64Value, UInt64Value, Int32Value, UInt32Value, BoolValue, StringValue, BytesValue.

Для прикладу розберемо поле "question" типу "com.google.protobuf.StringValue". Генерований код надає можливість визначити чи поле містить певне значення, отримати значення у вигляді структури "com.google.protobuf.StringValue" та помістити значення того ж типу.

```
boolean hasQuestion();  
com.google.protobuf.StringValue getQuestion();  
public Builder setQuestion(com.google.protobuf.StringValue value);
```

Саме методи get та set є не завжди зручними і оптимальними, оскільки для полів типу string отримувати складну структуру, в якій міститься потрібне значення, є зайвим.

Теж саме стосовно методу set: для того щоб помістити значення, потрібно викликати білдер класу StringValue та виконати додаткові операції. Для даного прикладу створення об'єкта типу ChatQuestions з полем Question буде мати такий вигляд:

```
ChatQuestions.newBuilder()  
    .setQuestion(StringValue.newBuilder()  
        .setValue("value")  
        .build())  
    .build();
```

Під запропонованим покращенням мається на увазі змінити генерацію коду Java класів опису proto повідомлень для комплексних структур типу ...Value, з додаванням допоміжних методів get...Value та set...Value, які б приймали та віддавали прості типи без надбудов.

Таке покращення направлене на зменшення кількості операцій під час створення та отримання об'єктів, які містять ...Value поля для збільшення перформенсу, а також для спрощення написання програм – оптимізації доступу до даних. Покращені класи нададуть більш швидкий та зручний доступ до даних, що сприяє підвищенню продуктивності додатку, а також покращення генерації коду призведе до зменшення споживання пам'яті та обчислювальних ресурсів.

Для перевірки ефективності запропонованого методу було проведено тестування роботи веб-додатку з використанням різної кількості користувачів та кількості даних.

Для вимірювання показників при навантаженні проекту до покращення та після було використано сервіс Guava від Google, оскільки він є простим інструментом для вимірювання часу та корисним для використання в будь-якому місці програми. Цей інструмент є потокобезпечним, тому можна використовувати кілька секундмірів паралельно без впливу на продуктивність. Кожне завдання, яке потрібно виміряти за допомогою секундміра, зберігається в Hashtable.

Під час порівняння було проведено аналіз часу побудови protobuf об'єктів з та без покращення в розмірі 500000 об'єктів (рис. 2):

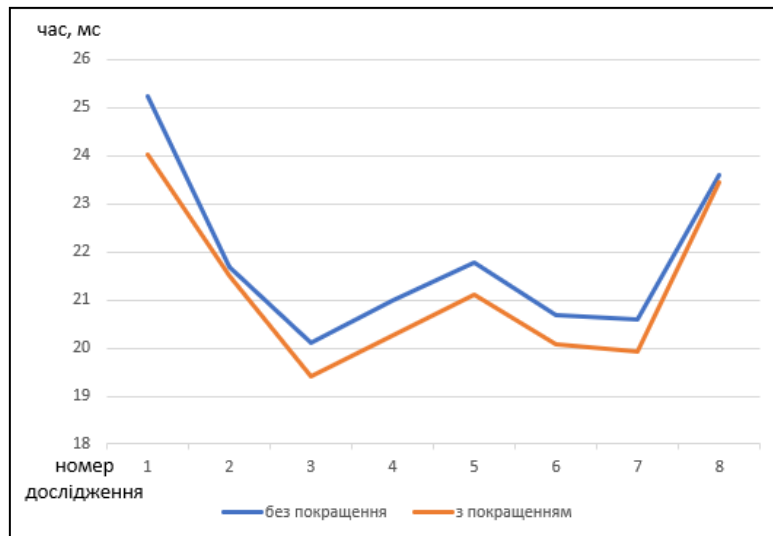


Рисунок 2. Порівняння продуктивності створення об'єктів

Створено діаграму для демонстрації результатів порівняння. При восьми перевірках результати мали певну розбіжність та в середньому результат показує, що покращення призвело до зменшення часу створення об'єктів в додатку при навантаженні на 2.8%.

Для наступного порівняння було проведено аналіз часу отримання значення атрибута з уже створеного protobuf об'єкта з та без покращення в розмірі 500000 разів (рис. 3):

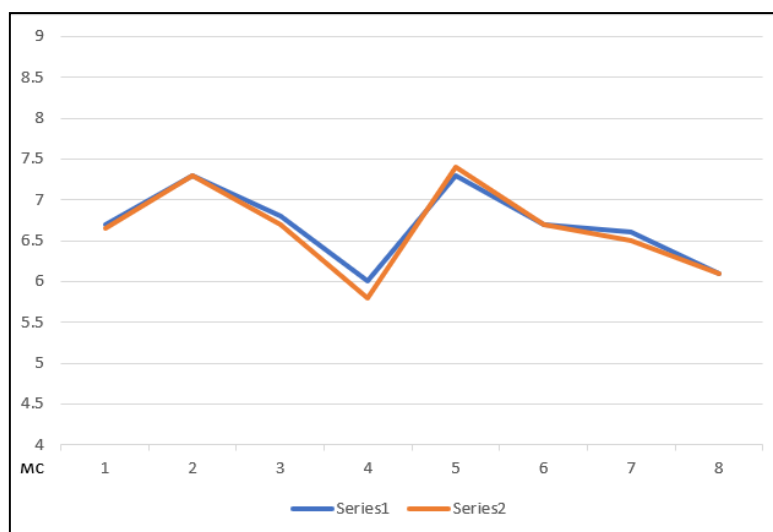


Рисунок 3. Порівняння продуктивності отримання значення атрибута

Створено діаграму для демонстрації результатів порівняння. Кількість перевірок така ж сама, результати також мали певну розбіжність. Проте в середньому результат показує, що покращення призвело до зменшення часу отримання значення атрибута в додатку при навантаженні на 0.4%.

Також для порівняння результатів передачі даних від клієнта до сервера протоколом gRPC було вирішено перевірити на прикладі двох тестових сценаріїв з різною кількістю користувачів. В першому сценарії брались до уваги 10 користувачів, в другому 100. Кожний користувач був представлений як окремий потік Java, але дані передавались через однаковий серверний стрім та розмір повідомлень був однаковий для кожного з них.

Щоб визначити залежність продуктивності протоколу від кількості повідомлень було вирішено розділити тестові дані на два різні набори даних. Таким чином, результатом першого тесту було отримання від сервера малої кількості повідомлень в розмірі 100 штук та 1000 штук в другому тесті.

Кожен набір даних перевірявся окремо в різному тестовому сценарії (табл. 2-3).

Таблиця 2. Результати порівняння для малої кількості паралельних підключень (10)

	100 повідомлень		1000 повідомлень	
	Без покращення	З покращенням	Без покращення	З покращенням
Середній час передачі, мс	0.029	0.028	1.27	1.24

Згідно таблиці 2 можна стверджувати, що покращення дає певне збільшення пропускної здатності. При малій кількості отриманих повідомлень покращення потребує на 3.5% менше часу та на 2.4% менше часу при більшій кількості надісланих даних.

Таблиця 3. Результати порівняння для великої кількості паралельних підключень (100)

	100 повідомлень		1000 повідомлень	
	Без покращення	З покращенням	Без покращення	З покращенням
Середній час передачі, мс	0.66	0.64	9.5	9.3

Відповідно до результатів, представлених в таблиці 3 видно, що покращення дозволяє збільшити також пропускну здатність при великій кількості паралельних підключень. При малій кількості отриманих повідомлень покращення потребує на 3% менше часу та на 2.1% менше часу ніж при більшій кількості надісланих даних

Висновки. В роботі виконано аналіз протоколів асинхронної взаємодії, які використовуються у веб-додатках з метою підвищення ефективності їх використання.

Запропоновано метод для покращення асинхронної взаємодії веб-сервісів з використанням протоколу gRPC за рахунок генерації Java класів на основі повідомлень protobuf, що дозволило шляхом спрощення структури класів надати більш швидкий та зручний доступ до даних та підвищити продуктивність додатку.

Тестування покращеного методу було виконано за допомогою веб-додатку для анонімних дискусій, створеного з використанням фреймворків gRPC, Protobuf, WebSocket, SpringBoot та бази даних PostgreSQL, застосування якого дало можливість практично реалізувати та продемонструвати ефективність його застосування. Отримані результати дослідження, проведеного у сервісі Guava із використанням звичайного та покращеного методів показали, що застосування запропонованої розробки дозволило зменшити час створення об'єктів в додатку при навантаженні на 2.8%, а час отримання значення атрибута в додатку при навантаженні зменшити на 0.4%. Також покращення дозволило збільшити пропускну здатність при великій кількості паралельних підключень.

Подальшим напрямком дослідження буде розробка методів, які дозволять оцінити та покращити часові параметри сервісної взаємодії для інших мов програмування, які підтримують генерацію gRPC з використанням опису сервісів Protobuf.

Список бібліографічного опису

1. М. Ємельянов, В. Шпак, "Асинхронна обробка запитів в RESTful веб-сервісах на основі Node.js", *збірник "Технічні науки та технології: теорія та практика"*, 2014, С. 36-44.
2. С. Крузе, О. Союз, "Synchronous and Asynchronous Web Service Interaction", *International Journal of Web Services Research*, 2013.
3. М. Дутчак, М. Пікуляк, "Оцінка якості методів та програмних засобів інтелектуальних адаптивних освітніх вебсистем самонавчання," *2022 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE)*, Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника, Івано-Франківськ, Україна, 29-30 листопада 2022 р., С. 266-270.
4. S. Varghese. Building High Performance APIs in Go Using gRPC and Protocol Buffers [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://shijuvar.medium.com/building-high-performance-apis-in-go-using-grpc-and-protocol-buffers-2eda5b80771b>. Дата звернення: 18.10.2023.
5. gRPC – A high performance, open source universal RPC framework. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://grpc.io/>. Дата звернення: 16.09.2023.

6. WebSocket. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/WebSocket>. Дата звернення: 26.10.23.
7. Чому MQTT є важливою частиною IoT? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://fiberroad.com/uk/why-is-mqtt-an-important-part-of-iot/>. Дата звернення: 21.10.2023.
8. AMQP is the Internet Protocol for Business Messaging. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.amqp.org/about/what>. Дата звернення: 20.11.2023.
9. S. G. Du, J. W Lee, K. Kim "Proposal of GRPC as a new northbound API for application layer communication efficiency in SDN, " *IMCOM '18: the 12th international conference on ubiquitous information management and communication, Langkawi Malaysia*. New York, NY, USA, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3164541.3164563>.

References

1. M. Yemelianov, V. Shpak, "Asynkhronna obrobka zapytiv v RESTful veb-servisakh na osnovi Node.js", *zbirnyk "Tekhnichni nauky ta tekhnolohii: teoriia ta praktyka"*, 2014, pp. 36-44.
2. S. Kruze, O. Soiu, "Synchronous and Asynchronous Web Service Interaction", *International Journal of Web Services Research*. 2013.
3. M. Dutchak, M. Pikuliak, "Otsinka yakosti metodiv ta prohramnykh zasobiv intelektualnykh adaptivnykh osvitnikh vebssystem samonavchannia," *2022 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE)*, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, Nov. 29-30, 2022, pp. 266-270.
4. S. Varghese. Building High Performance APIs in Go Using gRPC and Protocol Buffers [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://shijuvar.medium.com/building-high-performance-apis-in-go-using-grpc-and-protocol-buffers-2eda5b80771b>. Data zvernennia: 18.10.2023.
5. gRPC – A high performance, open source universal RPC framework. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://grpc.io/>. Data zvernennia: 16.09.2023.
6. WebSocket. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://uk.wikipedia.org/wiki/WebSocket>. Data zvernennia: 26.10.23.
7. Чому MQTT є важливою частиною IoT? [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://fiberroad.com/uk/why-is-mqtt-an-important-part-of-iot/>. Data zvernennia: 21.10.2023.
8. AMQP is the Internet Protocol for Business Messaging. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.amqp.org/about/what>. Data zvernennia: 20.11.2023.
9. S. G. Du, J. W Lee, K. Kim "Proposal of GRPC as a new northbound API for application layer communication efficiency in SDN, " *IMCOM '18: the 12th international conference on ubiquitous information management and communication, Langkawi Malaysia*. New York, NY, USA, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3164541.3164563>.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-28>

УДК 681.2.08:532.137

Пістун Євген Павлович, д.т.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0002-3120-1978>

Крих Ганна Бориславівна, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-6539-400X>

Матіко Галина Федорівна, к.т.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-5482-2307>

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

СПОСОБИ ЗМІНИ ШВИДКОСТЕЙ ЗСУВУ В ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПРИСТРОЯХ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НЕНЬЮТОНІВСЬКИХ РІДИН

Пістун Є.П., Крих Г.Б., Матіко Г.Ф. Способи зміни швидкостей зсуву в гідродинамічних пристроях для вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин. В статті запропоновано принцип побудови гідродинамічних пристроїв для неперервного вимірювання реологічних параметрів в'язкопластичних та псевдопластичних рідин, який базується на створенні в чутливих елементах деформації зсуву з різними швидкостями. Розроблено ряд схем гідродинамічних вимірних пристроїв, в яких реалізовано різні способи зміни швидкості зсуву рідини. Отримані функції перетворення запропонованих гідродинамічних пристроїв на підставі витратних характеристик дросельних елементів та типу їх з'єднання в схемах.

Ключові слова: гідродинамічний пристрій, неньютонівська рідина, пластична в'язкість, граничне напруження зсуву, індекс потоку, показник консистенції.

Pistun Ye., Krykh H., Matiko H. Ways for changing shear rates in hydrodynamic devices for measuring rheological parameters of non-Newtonian fluids. The paper proposes the principle of constructing hydrodynamic devices for continuous measurement of rheological parameters of viscoplastic and pseudoplastic fluids, which is based on creating shear deformation at different speeds in sensitive elements. Several diagrams of hydrodynamic measuring devices have been developed, in which various ways of changing the fluid shear rate have been implemented. The transform functions of the proposed hydrodynamic devices are obtained based on the flow characteristics of the throttle elements and the type of their connection in the diagrams.

Keywords: hydrodynamic device, non-Newtonian fluid, plastic viscosity, yield shear stress, flow index, consistency index.

Постановка наукової проблеми.

Розроблення пристроїв для вимірювання параметрів неньютонівських рідин є складною задачею, що зумовлено їх різноманітною реологічною поведінкою, специфічними ефектами, які виникають під дією різного роду деформацій. Саме тому для вимірювання реологічних параметрів запропоновано багато приладів, які працюють за різними методами вимірювання [1-5]. Найбільш поширеними серед них є капілярні та ротаційні пристрої, які дають можливість оцінити властивості неньютонівських рідин під час деформації зсуву [1, 2]. Оскільки реологічна поведінка неньютонівських рідин залежить від швидкості зсуву, то досліджувану рідину необхідно піддавати деформаціям зсуву з різним швидкостями. В лабораторних приладах таку задачу вирішують досить просто, послідовно в часі задаючи різні швидкості зсуву. Для реалізації неперервного вимірювання реологічних параметрів важливо створювати різні швидкості зсуву одночасно. Інша особливість дослідження конкретної неньютонівської рідини полягає в тому, що на відміну від ньютонівської рідини, її реологічна поведінка характеризується зазвичай декількома параметрами. Прилади неперервної дії повинні забезпечити одночасне вимірювання реологічних параметрів. Тому задача побудови пристроїв для неперервного контролю реологічних параметрів є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Серед відомих пристроїв можливість одночасно створювати різні швидкості зсуву та вимірювати декілька реологічних параметрів мають капілярні реометри, які реалізують гідродинамічний метод вимірювання. Згідно з цим методом контрольовану рідину пропускають через дроселі та вимірюють характеристики потоку, які залежать від властивостей рідини [6, 7]. Такими характеристиками можуть бути або перепад тиску на дроселях, або витрата рідини через дроселі, між якими в усталеному режимі існує залежність, що описується витратною характеристикою. Рівняння витратної характеристики в свою чергу залежить від реологічної моделі досліджуваного середовища, від типу дросельного елемента та його конструктивних характеристик. Реологічні моделі досить різноманітні та описують різні ефекти реологічної поведінки неньютонівських рідин. Для зсувної течії в'язкопластичної рідини досить часто застосовують модель Бінгама, для псевдопластичної рідини – степеневу модель [1, 2, 8]. Ці моделі містять два параметри. Теоретично для їх визначення з витратної характеристики одного дросельного елемента

необхідно мати значення перепаду тиску і витрати при двох значеннях швидкості зсуву. Якщо дросельними елементами в гідродинамічному пристрої є циліндричні трубки круглого поперечного перерізу, то змінювати швидкість зсуву течії середовища в ній можна трьома способами: зміною внутрішнього діаметра трубки, зміною кількості дросельних елементів та зміною витрати. Зазвичай такі способи нескладно реалізувати в лабораторних приладах, в яких вимірювання проводять послідовно. Наприклад, середовище пропускають через трубку при одній витраті і вимірюють перепад тиску на ній, потім створюють потік з іншою витратою і повторюють вимірювання [2]. В приладах неперервної дії такі операції необхідно проводити в один і той самий момент часу.

Дослідженнями також встановлено, що для підвищення точності неперервного вимірювання в'язкості ньютонівських рідин, реологічних параметрів неньютонівських рідин доцільно застосовувати не одну, а чотири трубки однакового діаметра, які з'єднують у схему гідродинамічного моста [9, 10]. В протилежних плечах моста розташовують трубки однакової довжини, а суміжні плечі складають з трубок різної довжини. Завдяки цьому витрати рідини в усіх трубках є однаковими і різниця тисків у вихідній діагоналі моста не залежатиме від входових ефектів трубок, які присутні в трубках кінцевої довжини [9, 11]. Зазначимо, що швидкість зсуву рідини у всіх трубках гідродинамічного моста буде однаковою.

Формулювання мети дослідження.

Метою дослідження є аналіз способів створення різних швидкостей зсуву та їх впливу на функції перетворення гідродинамічних пристроїв для неперервного та одночасного вимірювання реологічних параметрів неньютонівських рідин.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Для створення течії неньютонівської рідини з різними швидкостями зсуву побудову гідродинамічних пристроїв для вимірювання параметрів неньютонівських рідин доцільно здійснювати за допомогою мостових вимірювальних перетворювачів, з'єднаних послідовно [9]. Кожний мостовий перетворювач складається, як зазначено вище, з трубок однакового внутрішнього діаметра, а між собою вони відрізняються конструктивними характеристиками, зокрема діаметрами трубок.

Розглянемо гідродинамічний пристрій для вимірювання параметрів степеневі рідини, який реалізує вказаний спосіб створення різних швидкостей зсуву. На рис. 1 зображена принципова схема такого пристрою.

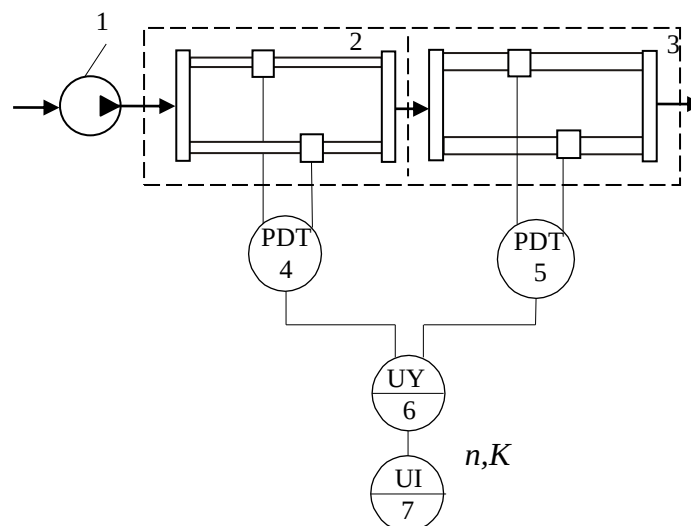


Рис. 1. Принципова схема гідродинамічного пристрою для вимірювання індексу течії та показника консистенції степеневі рідини: 1 – задавач постійної витрати; 2, 3 – мостові перетворювачі; 4, 5 – дифманометричні перетворювачі; 6 – мікропроцесорний обчислювач; 7 – прилад відображення параметрів

Пристрій складається із задавача 1 постійної витрати, мостових перетворювачів 2 і 3, увімкнених послідовно за потоком контрольованої рідини. Міжтрубні камери вказаних

перетворювачів 2 і 3 сполучені з дифманометричними перетворювачами 4 і 5, які за виходом з'єднані з мікропроцесорним обчислювачем 6, до якого в свою чергу приєднаний прилад 7 відображення параметрів.

Розглянемо статичну характеристику такого гідродинамічного пристрою. Під час прокачування ступеневої рідини з постійною витратою F через мостові перетворювачі в їхніх міжтрубних камерах виникають перепади тисків, які визначаються з рівняння [8]

$$\Delta P_i = \frac{2\Delta L_i}{(R_i)^{1+3n}} \left(\frac{3n+1}{\pi n} \right)^n K \left(\frac{F}{2} \right)^n, \quad (1)$$

де K – показник консистентності; n – індекс потоку; ΔL_i – різниця довжин довгих та коротких трубок; R_i – радіус трубок; $i = 1, 2$ – індекс, що відносить величини ΔP_i , ΔL і R до першого або другого мостового перетворювача.

Вихідні сигнали дифманометричних перетворювачів подаються до мікропроцесорного обчислювача 6, в якому спочатку обчислюється відношення

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{\Delta L_1}{\Delta L_2} \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^{1+3n},$$

яке далі логарифмується

$$\ln \left(\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \right) = \ln \left(\frac{\Delta L_1}{\Delta L_2} \frac{R_2}{R_1} \right) + 3n \ln \left(\frac{R_2}{R_1} \right). \quad (2)$$

Зауважимо, що якщо між довжинами та діаметрами трубок обох мостових перетворювачів дотримати співвідношення $\frac{\Delta L_1}{\Delta L_2} \frac{R_2}{R_1} = 1$, то прилад 7 буде відображати індекс потоку, розрахований за такою формулою

$$n = k \ln(\Delta P_1 / \Delta P_2), \quad (3)$$

де $k = 1/3 \ln(R_2/R_1)$ – коефіцієнт, що визначається діаметрами трубок мостових перетворювачів.

Обчислювач також розраховує показник консистентності K за вихідними сигналами мостових перетворювачів за формулою

$$K_i = \frac{\Delta P_i R_i}{2\Delta L_i} \left(\frac{n\pi R_i^3}{3n+1} \frac{2}{F} \right)^n. \quad (4)$$

Прилад 7 показує середньоарифметичне значення показника консистентності $K = (K_1 + K_2)/2$.

За аналогічною схемою може бути побудований пристрій для вимірювання реологічних параметрів бінгамівської рідини, модель якої містить два параметри: пластичну в'язкість η і граничне напруження зсуву τ_0 . Але складність реалізації такого пристрою полягає в тому, що за витратними характеристиками двох мостових перетворювачів неможливо аналітично в явному вигляді за результатами вимірювання перепадів тиску в їхніх діагоналях обчислити значення параметрів. Для усунення цієї проблеми пропонується схема гідродинамічного перетворювача, яка складається з трьох послідовно з'єднаних мостових перетворювачів (рис. 2).

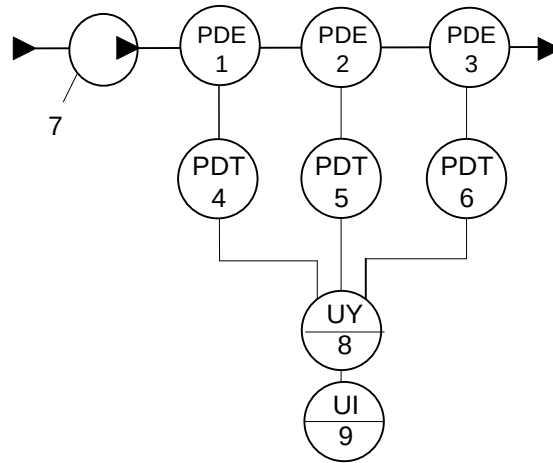


Рис. 2. Принципова схема гідродинамічного пристрою для вимірювання параметрів в'язкопластичної рідини: 1, 2, 3 – гідродинамічні мостові перетворювачі; 4, 5, 6 – дифманометричні перетворювачі; 7 – задавач постійної витрати; 8 – обчислювач; 9 – пристрій відображення інформації

Діаметри трубок в кожному мостовому перетворювачі, як і в схемі на рис. 1, мають однаковий діаметр. Але швидкості зсуву рідини в мостових перетворювачах 1, 2 і 3 є різні, оскільки вони відрізняються діаметрами трубок.

Розглянемо функцію перетворення такого перетворювача. Витратна характеристика кожного мостового перетворювача для руху в'язкопластичної бінгамівської рідини в циліндричних трубках круглого поперечного перерізу має вигляд [8]

$$\Gamma_i = \frac{\tau_{wi}}{\eta} \left(1 - \frac{4}{3} \frac{\tau_0}{\tau_{wi}} + \frac{1}{3} \left(\frac{\tau_0}{\tau_{wi}} \right)^4 \right), \quad (5)$$

де $\Gamma_i = \frac{2F}{\pi R_i^3}$ – уявна швидкість зсуву; F – об'ємна витрата задавача; 7; $\tau_{wi} = \frac{\Delta P_i R_i}{2\Delta L_i}$ – дотичне

напруження зсуву на внутрішній стінці трубок однакового діаметра; ΔP_i – перепад тиску у вихідній діагоналі мостового гідродинамічного перетворювача; R_i – радіус трубок мостового перетворювача; ΔL_i – різниця довжин трубок в суміжних плечах мостового перетворювача; $i=1, 2, 3$ – індекс, що відносить величини Γ , ΔP , ΔL і R до першого, другого та третього мостового перетворювача.

Оскільки діаметри трубок в мостових перетворювачах різні, то відповідно і уявні швидкості зсуву рідини в трьох мостових перетворювачах різні, тобто $\Gamma_1 \neq \Gamma_2 \neq \Gamma_3$. За таких умов функції перетворення гідродинамічного вимірювального перетворювача за пластичною в'язкістю η і граничним напруження зсуву τ_0 визначають за формулами:

$$\eta = \frac{1}{a_0} (\tau_{w1} + b\tau_{w2} + c\tau_{w3}), \quad (6)$$

$$\tau_0 = \frac{3}{4a_0} (a_1\Gamma_1 + b_1\Gamma_2 + c_1\Gamma_3), \quad (7)$$

в яких $a_0 = \Gamma_1 + b\Gamma_2 + c\Gamma_3$; $b = \frac{1}{d} \left(\frac{\tau_{w2}}{\tau_{w3}} \right)^3 \left[1 - \left(\frac{\tau_{w3}}{\tau_{w1}} \right)^3 \right]$; $c = \frac{1}{d} \left[\left(\frac{\tau_{w2}}{\tau_{w1}} \right)^3 - 1 \right]$;

$$a_1 = \frac{\tau_{w3}}{d} \left[1 - \left(\frac{\tau_{w2}}{\tau_{w3}} \right)^4 \right]; b_1 = \frac{\tau_{w1}}{d} \left(\frac{\tau_{w2}}{\tau_{w3}} \right)^3 \left[1 - \left(\frac{\tau_{w3}}{\tau_{w1}} \right)^4 \right]; c_1 = \frac{\tau_{w1}}{d} \left[\left(\frac{\tau_{w2}}{\tau_{w1}} \right)^4 - 1 \right]; d = 1 - \left(\frac{\tau_{w2}}{\tau_{w3}} \right)^3.$$

Коефіцієнти a_1, b_1, c_1, b і c у формулах (6) і (7) змінюються в залежності від вимірюваних за допомогою дифманометрів перепадів тиску у вихідних діагоналях мостових перетворювачів. Обчислювач розраховує значення цих коефіцієнтів і за формулами (6) і (7) визначає параметри η і τ_0 , які відображаються приладом 9.

В гідродинамічних пристроях, які працюють в режимі постійної витрати, є можливість змінювати швидкість зсуву рідини в трубках, застосовуючи послідовне з'єднання одинарних трубок та їхніх пакетів. На рис. 3 показана принципова схема гідродинамічного пристрою для вимірювання реологічних параметрів, в якій дросельні елементи ввімкнені в схему мостового перетворювача, протилежні плечі якого є однаковими.

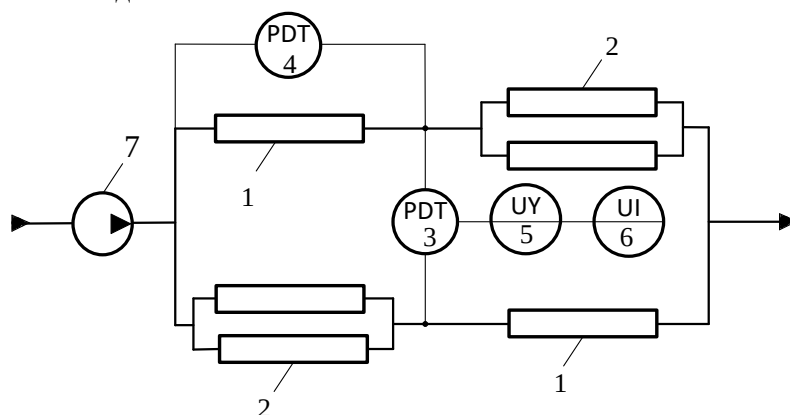


Рис. 3. Принципова схема пристрою для вимірювання параметрів неньютонівської рідини:
1 – одинарна вимірювальна трубка; 2 – пакет з двох вимірювальних трубок;
3, 4 – дифманометричні перетворювачі; 5 – обчислювач; 6 – пристрій відображення інформації;
7 – задавач постійної об'ємної витрати

Суміжні плечі моста складаються з одинарних трубок та пакетів, кожний з яких містить дві трубки. Конструктивною особливістю пристрою є те, що діаметри та довжини всіх вимірювальних трубок є однаковими. Завдяки цьому витрата рідини в одинарній трубці вдвічі більша за витрату рідини у вимірювальних трубках пакетів, і відповідно значення швидкості зсуву рідини в трубках пристрою є різними.

Для побудови функції перетворення пристрою, що вимірює параметри в'язкопластичної рідини, застосуємо спрощене рівняння витратної характеристики (5). Тоді перепад тиску на одинарних трубках 1 визначають з рівняння

$$\Delta P_1 = k \frac{F}{2} \eta + m \tau_0, \quad (8)$$

а перепад тиску на пакеті трубок 2 – з такого рівняння

$$\Delta P_2 = k \frac{F}{4} \eta + m \tau_0, \quad (9)$$

де $k = \frac{8L}{\pi R^4}$, $m = \frac{8L}{3R}$ – коефіцієнти, що визначаються радіусом R та довжиною L трубок пристрою;
 F – об'ємна витрата задавача 7.

З рівнянь (8) і (9) видно, що в перепаді тиску ΔP_3 , що вимірюється дифманометричним перетворювачем 3, складові перепаду тиску, зумовлені пластичними властивостями в'язкопластичної рідини, компенсується. Тоді функція перетворення пристрою за пластичною в'язкістю η має вигляд

$$\eta = \frac{\pi R^4}{2FL} \Delta P_3. \quad (10)$$

Для визначення функції перетворення пристрою за граничним напруженням зсуву τ_0 скористаємося рівнянням (8):

$$\tau_0 = \frac{1}{m} \left(\Delta P_1 - k \frac{F}{2} \eta \right) = \frac{3R}{8L} (\Delta P_1 - 2\Delta P_3). \quad (11)$$

В розглянутих вище способах зміни швидкості зсуву загальна витрата рідини через гідродинамічний вимірювальний пристрій є однаковою. За третім способом зміни швидкості зсуву в рідині забезпечують за рахунок різних витрат контрольованої рідини через кожний гідродинамічний мостовий перетворювач. Для цього частину рідини в процесі вимірювання відводять від початкової витрати або додають. Розглянемо реалізацію цього методу на прикладі пристрою для вимірювання параметрів бінгамівської рідини, принципова схема якого показана на рис. 4.

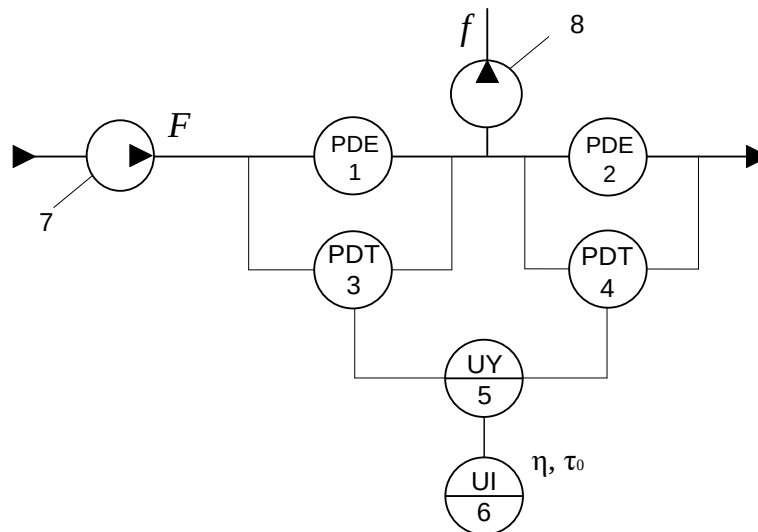


Рис. 4. Принципова схема пристрою для вимірювання параметрів в'язкопластичної рідини:
1, 2 – мостові гідродинамічні перетворювачі; 3, 4 – дифманометричні перетворювачі; 5 – обчислювач;
6 – пристрій відображення інформації; 7, 8 – задавачі постійної об'ємної витрати

На відміну від розглянутих вище схем в пристрої застосовано два задавача постійної об'ємної витрати 7 і 8. За допомогою задавача 7 контрольована рідина прокачується через мостовий перетворювач 1 з витратою F , а задавач 8 відбирає рідину перед другим мостовим перетворювачем 2 з витратою f , яка є меншою за F . Конструктивно обидва мостові перетворювачі виконані однаково і містять трубки однакового діаметра $2R$ і мають однакову різницю ΔL між довжинами довгих та коротких трубок в суміжних плечах. З врахуванням цих особливостей перепади тиску ΔP_1 і ΔP_2 у вихідних діагоналях мостових перетворювачів 1 і 2 описуються рівняннями

$$\Delta P_1 = \frac{4\Delta L F}{\pi R^4} \eta + \frac{8\Delta L}{3R} \tau_0, \quad (12)$$

$$\Delta P_2 = \frac{4\Delta L (F - f)}{\pi R^4} \eta + \frac{8\Delta L}{3R} \tau_0. \quad (13)$$

Віднімаючи рівняння (13) з рівняння (12), одержимо

$$\Delta P_1 - \Delta P_2 = \frac{4\Delta L f}{\pi R^4} \eta,$$

звідки отримаємо функцію перетворення пристрою за пластичною в'язкістю

$$\eta = \frac{\pi R^4}{4\Delta L f} (\Delta P_1 - \Delta P_2). \quad (14)$$

Далі додамо рівняння (12) і (13)

$$\Delta P_2 + \Delta P_1 = \frac{4\Delta L (2F - f)}{\pi R^4} \eta + \frac{16\Delta L}{3R} \tau_0. \quad (15)$$

Підставимо η з рівняння (14) в (15), тоді одержимо

$$\Delta P_2 + \Delta P_1 = \left(2 \frac{F}{f} - 1\right) (\Delta P_1 - \Delta P_2) + \frac{16\Delta L}{3R} \tau_0, \quad (16)$$

звідки отримуємо функцію перетворення вимірювального пристрою за граничним напруженням зсуву τ_0 в'язкопластичної рідини

$$\tau_0 = \frac{3R}{8\Delta L} \left(\frac{F}{f} \Delta P_2 - \left(\frac{F}{f} - 1 \right) \Delta P_1 \right). \quad (17)$$

Вихідні сигнали дифманометричних перетворювачів надходять до обчислювача 5, який за формулами (14) і (17) розраховує значення пластичної в'язкості та граничного напруження зсуву рідини.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Стаття присвячена дослідженню способів створення потоку рідини в чутливих елементах при різних швидкостях зсуву та їх використанню для розроблення гідродинамічних пристроїв неперервного та одночасного вимірювання декількох реологічних параметрів неньютонівських рідин. Ці способи реалізують застосуванням в схемах приладів трубок різного діаметру, комбінацією послідовного та паралельного з'єднання трубок, зміною витрати рідини через кожний мостовий перетворювач за рахунок введення додаткових потоків або їх відведення. Запропоновано схеми гідродинамічних перетворювачів пластичної в'язкості та граничного напруження зсуву в'язкопластичних рідин, а також показника консистенції та індексу потоку для псевдопластичних рідин. Для кожної схеми отримані функції перетворення гідродинамічного пристрою за вимірюваними параметрами, які залежать від вибраного способу зміни швидкості деформації зсуву.

В майбутньому автори планують зробити порівняльний аналіз технічних та метрологічних характеристик розроблених схем гідродинамічних пристроїв з різними способами зміни швидкості зсуву в чутливих елементах.

Список бібліографічного опису

1. Rao, M.A. (2014) Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods, Food Engineering Series, DOI 10.1007/978-1-4614-9230-6_2, Springer Science+Business Media New York
2. Chhabra, R.P., Richardson, J.F. (2008) Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications, 519 p.
3. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Rheology and Rheological Measurements, John Wiley & Sons, New York, 1992.
4. Van Oort, E., Vajargah, K., Hoxha, B. (2015). U.S. Patent Appl. 2015/0330213 A1. Systems and Methods for Determining a Rheological Parameter
5. Alderman, N.J., Heywood, N.I. (1999) Selection of on-line viscometers for slurry applications. 14th International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transport (Hydrotransport 14), Maastricht, The Netherlands, P. 373-399
6. Pistun, Ye.P., Matiko, H.F., Krykh, H.B. (2022) Algorithmization of designing gas-hydrodynamic measuring transducers using structural and parametric optimization. 8th International Conference «Energy Smart Systems – 2022», ESS 2022 - Proceedings, P. 264-268. DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969338
7. Древецький В.В., Воєвода В.В. (2015) Патент на корисну модель 102560 (UA), МПК G01N 11/08. Пристрій для вимірювання реологічних параметрів в'язкопластичних рідин. 10.11.2015
8. Steffe, J.F. (1996) Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd edition. Freeman Press, East Lansing, MI, USA, 418 p.
9. Пістун, Є.П., Матіко, Г.Ф., Крих, Г.Б. (2022) Вдосконалення гідродинамічних пристроїв для вимірювання реологічних параметрів рідин. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво, 48, С.5-12
10. Clarke, P.G., Murphy, M.P. (2017) Modular Capillary Bridge Viscometer, U.S. Patent 9,612,183 B2
11. Aho, J. and Syrjala S. (2006) Determination of the entrance pressure drop in capillary rheometry using Bagley correction and zero-length capillary. Annual transactions of the nordic rheology society, 14, P.1-5

References

1. Rao, M.A. (2014) Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods, Food Engineering Series, DOI 10.1007/978-1-4614-9230-6_2, Springer Science+Business Media New York
2. Chhabra, R.P., Richardson, J.F. (2008) Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications, 519 p.
3. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Rheology and Rheological Measurements, John Wiley & Sons, New York, 1992.

4. Van Oort, E., Vajargah, K., Hoxha, B. (2015). U.S. Patent Appl. 2015/0330213 A1. Systems and Methods for Determining a Rheological Parameter
5. Alderman, N.J., Heywood, N.I. (1999) Selection of on-line viscometers for slurry applications. 14th International Conference on Slurry Handling and Pipeline Transport (Hydrotransport 14), Maastricht, The Netherlands, P. 373-399
6. Pistun, Ye.P., Matiko, H.F., Krykh, H.B. (2022) Algorithmization of designing gas-hydrodynamic measuring transducers using structural and parametric optimization. 8th International Conference «Energy Smart Systems – 2022», ESS 2022 - Proceedings, P. 264-268. DOI: 10.1109/ESS57819.2022.9969338
7. Drevetskyi, V.V., Voyevoda, V.V. (2015) Patent 102560 (UA), MPC G01N 11/08. Device for measuring rheological parameters of viscoplastic liquids.
8. Steffe, J.F. (1996) Rheological Methods in Food Process Engineering, 2nd edition. Freeman Press, East Lansing, MI, USA, 418 p.
9. Pistun, Ye.P., Matiko, H.F., Krykh, H.B. (2022) Improving the hydrodynamic devices for measuring rheological parameters of liquids. Computer-integrated technologies: education, science, production, 48, P.5-12
10. Clarke, P.G., Murphy, M.P. (2017) Modular Capillary Bridge Viscometer, U.S. Patent 9,612,183 B2
11. Aho, J. and Syrjala S. (2006) Determination of the entrance pressure drop in capillary rheometry using Bagley correction and zero-length capillary. Annual transactions of the nordic rheology society, 14, P.1-5

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-29>

УДК 621.311.21

Пітух Ігор Романович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3329-4901>

Західноукраїнський національний університет, м Тернопіль, Україна.

РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ЕМЕРДЖЕНТНОГО АНАЛІЗУ СКЛАДНИХ ТОПОЛОГІЙ ВИСОКОВОЛЬТНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ВРАХУВАННЯ ІМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДМОВ

Пітух І.Р. Розвиток теорії емерджентного аналізу складних топологій високовольтних мереж на основі методу врахування ймовірнісних характеристик відмов. В роботі запропонований метод емерджентного аналізу топологій високовольтних мереж, як класу кольорових мереж Петрі з врахуванням відмов генеруючого, передавального та сповивального електрообладнання.

Ключові слова: енергосистеми, критерій емерджентності, електропідстанція.

Pitukh I. Development of the theory of emergent analysis of complex topologies of high-voltage networks based on the method of taking into account probabilistic failure characteristics. The paper proposes a method of emergent analysis of topologies of high-voltage networks, as a class of colored Petri nets, taking into account failures of generating, transmission and winding electrical equipment.

Key words: power systems, emergency criterion, electric substation.

Постановка наукової проблеми.

Стратегічний та динамічний розвиток системи енергопостачання в Україні безпосередньо пов'язаний з необхідністю підвищення надійності та живучості електротехнічного обладнання на стаціонарних генеруючих потужностях різного типу гідро, вітрових, сонячних та атомних електростанцій, а також мобільних електрогенераторів корабельного та наземного типу. Аналіз топологій сучасних досліджень типів високовольтних електромереж, як підвиду кольорових мереж Петрі [1], викладені в опублікованих джерелах [2,3] базуються на повній стопроцентній наявності комунікованого обладнання в часі. У той же час, в умовах природних динамічних факторів та ціленаправлених пошкоджень компонентів такого класу систем, розрахунок їх характеристик не враховує ймовірнісні процеси зміни топології мережі та наявності відмов компонентів. Перспективним застосуванням теоретичних положень аналізу топологій високовольтних мереж є оцінки ступеня емерджентності в умовах динамічної зміни їх архітектури. Тому актуальною є проблема розвитку теорії емерджентного аналізу складних топологій високовольтних мереж та застосування методу врахування ймовірнісних характеристик оцінок ступеня емерджентності в умовах відмов.

Аналіз досліджень.

Класична теорія кольорових мереж Петрі базується на топологічному аналізі шляхом врахування структурної та кількісних характеристик вершин та ребер, на основі яких будується модель матриці сумісності та інценденції [4]. Такого роду моделі не враховують динамічні зміни топології та кількості компонентів у результаті ймовірнісних впливів. В наш час, практично відсутні теоретичні положення розрахунку топологій складних мереж з врахуванням ймовірностей характеристик відмов компонентів та зміни архітектури.

Такий стан досліджень у цій галузі знань не дозволяє визначити найбільш вразливі інформаційні та матеріальні комунікації, які можуть приводити до суттєвої деградації системи в часі. Ускладнюється також математичне обґрунтування оптимізованих заходів резервування певних компонентів енергосистеми, а також її інформаційного та матеріального криптозахисту. Позитивним прикладом проведення робіт у цьому напрямку є резервування інформаційних каналів. Трьохкратне криптозахисте резервування інформаційних та енергетичних каналів моніторингу та управління ефективно застосовується в діючій системі «Стріла» [5].

Мета роботи.

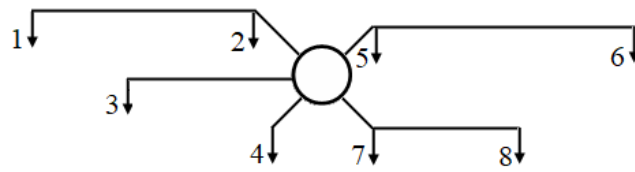
Розробка теоретичних положень розширення функціональних можливостей емерджентного аналізу динамічно змінюваних топологій та кількості компонентів складних багаторівневих мереж електропостачання.

Крім названих факторів динамічних змін в архітектурах системи електропостачання слід враховувати можливості суттєвої зміни кількості споживачів та споживані потужності

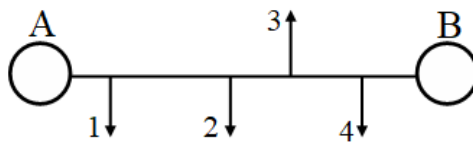
електроенергії, наприклад, при всерному відключенні споживачів в умовах дефіциту потужностей електроенергії.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

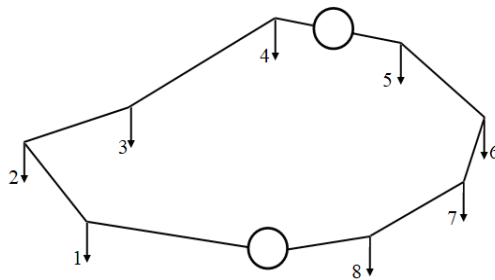
В плані постановки вирішувальної проблеми автором досліджені архітектури розімкнутих магістральних та замкнутих топологій високовольтних електромереж представлених на рис. 1, в яких застосовується певна кількість об'єктів генерування та споживання.



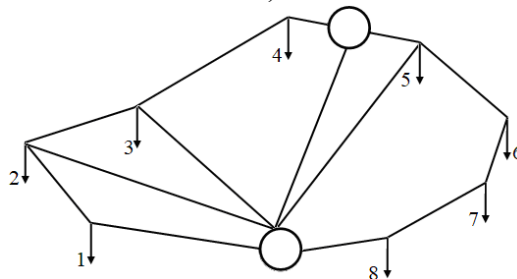
а)



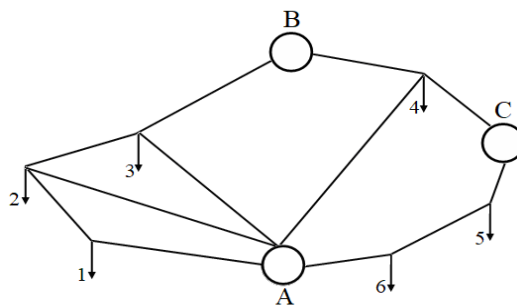
б)



в)



г)



д)

Рис. 1. Розімкнуті магістральні та замкнуті топології високовольтних електромереж

Розрахунок емерджентності вище наведених архітектур на основі критеріїв емерджентності, згідно визначення кількості зв'язків до кількості об'єктів () запропонованих автором в [6] подано в табл.1.

Таблиця 1. Оцінка топології енергосистем згідно критерію емерджентності

Тип топології	Назва топології	K_e
Рис.1(а)	Топологія розімкненої електромережі з одним джерелом живлення	$K_e=8/1=8$
Рис 1(б)	Магістральна електромережа з багатьма джерелами електроживлення	$K_e=5/2=2.25$
Рис.1(в)	Кільцева електромережа з багатьма джерелами електроживлення	$K_e=8/2=4$
Рис.1(г)	Кільцево-радіальна електромережа збагатьма джерелами електроживлення	$K_e=8/2=4$
Рис.1(д)	Кільцево-радіальна електромережа з багатьма джерелами електроживлення	$K_e=18/3=6$

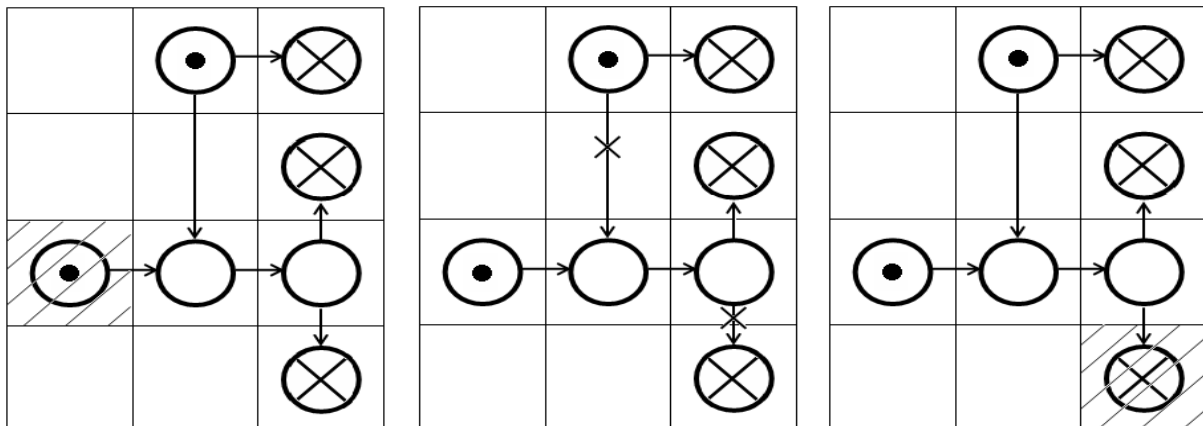
Розрахунки приведені в табл. 1 дозволяють встановити, при наявності високомобільних споживачів в умовах комендантських годин, а також автотранспорту на електричній тязі, що такі архітектури з імовірнісними споживачами мають набагато вищі показники емерджентності у порівнянні з більш досконалими архітектурами, наприклад зірково-магістральною, зірково-кільцевою та інше. Тобто при зростанні кількості споживачів до максимального значення, гранична мінімальна емерджентність приведених структур приведених на рис.1 відповідно зменшується

Таким чином, в основу розширення теоретичних положень такого класу мереж запропоновано оцінку емерджентності згідно виразу:

$$K_e(\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot N_z}{\sum_{j=1}^m P_j \cdot N_e}, \quad i \in \overline{1..n}, \quad j \in \overline{1..m}, \quad (1)$$

де Δt – часовий інтервал у якому топологія електромережі та наявність її діючих повнофункціональних компонентів незмінна; P_i та P_j – відповідні ймовірності штатно діючих компонентів системи; n та m – відповідні максимальні кількості діючих у штатному режимі компоненти.

На рис 2 приведені приклади зміни топологій та кількості компонентів електромережі побудовані згідно запропонованих структурно-математичних положень інтерактивних матричних моделей руху даних (ИММРД) [7].



а) б) в)
 Рис. 2. ІММРД з відмовою джерела електроенергії (а), ліній електропередач (б), споживачів електроенергії (в).

Розраховані для приведених прикладів, динамічні оцінки емерджентності відповідних структур, дозволяють шляхом емуляції та комп'ютерного моделювання попередньо оцінити інформаційно-технологічну вразливість реально діючих структур високовольтних та низьковольтних електромереж. Оцінка ступеня їх деградації на основі відповідних модельних розрахунків емерджентності дозволяють розробити попереджувальні заходи, знешкодження окремих негативних впливів. При цьому, для структур класифікованих мереж енергопостачання досліджених в роботі [8], доцільно розробити найбільш оптимізовані динамічні удосконалення їх топологій з врахуванням енергетичного потенціалу генеруючих потужностей та споживання електроенергії. Наприклад у монопольній топології локальної мережі електропостачання, яка представлена на рис 3.

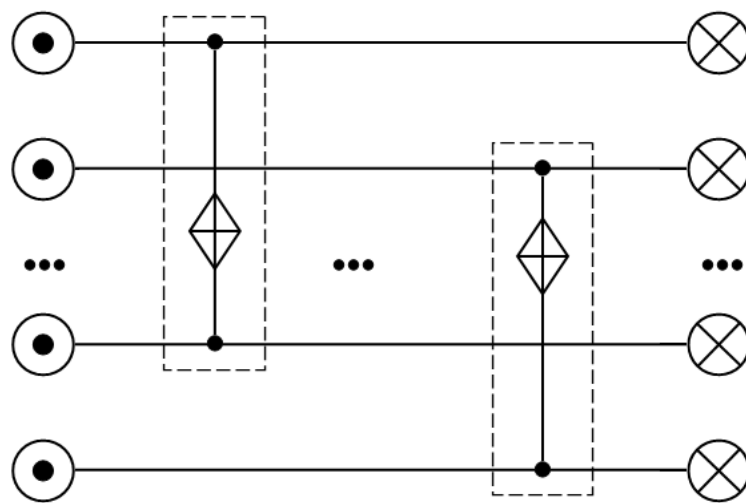


Рис. 3. Оптимізація топології монопольної архітектури електромережі з врахуванням резервних підстанцій.

Емерджентність такої вдосконаленої архітектури відповідно зростає згідно приведених результатів:

$$\text{а) } K_e = 9/6 = 1.5; \text{ б) } K_e = 18/10 = 1.8; \text{ в) } K_e = 22/10 = 2.2; \text{ г) } K_e = 18/9 = 2.$$

Для прикладу згідно формули (1) проведемо розрахунок імовірнісної емерджентності для топології мережі рис. 1(д) з врахуванням відмов електрогенеруючого компонента В та трьох споживачів електроенергії 1,6,5.

$$P_i = 14/18 = 0.7, P_j = 2/3 = 0.6, K_e = \frac{0.7 \cdot 18}{0.6 \cdot 3} = 7.$$

Застосування запропонованих теоретичних положень оцінки імовірнісної емерджентності та емуляція можливих випадків шляхом комп'ютерного моделювання дозволяє виявити найбільш вразливі ситуації при інтенсивних відмовах обладнання, а також розробити відповідні рекомендації по проектуванню та монтажу криптозахищених комутаційних компонентів та ліній зв'язку.

Висновки.

Викладені математичні положення розширення імовірнісної характеристики емерджентності при зміні топології мереж електропостачання в умовах інтенсивних відмов генеруючого лінійного та комутуючого обладнання. Це дозволяє, шляхом відповідної емуляції та комп'ютерного моделювання конкретних ситуаційних відмов, розробити рекомендації по максимальному підвищенню захищеності системи електропостачання, зниженню рівня її деградації а також проектування та монтажу інформаційно та матеріально криптозахищених компонентів.

Список бібліографічного опису

1. Carl Adam Petri. Nets, Time and Space. Theoretical Computer Science, 153 (12): 3-48, 1996.
2. Николайчук Я.М. Теорія моделей руху даних / Николайчук Я.М., Пітух І.Р., Возна Н.Я. – Тернопіль: "Терно-граф", 2008.-216с.
3. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем: Навчальний посібник / Я.М. Николайчук, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух – Тернопіль: ТзОВ "Терно-граф". 2010. – 392 с., іл..
4. Nykolaichuk Ya.M. Structuring the movement of data in computer systems / Ya.M. Nykolaichuk, N.Ya Vozna, I.R. Pitukh - Ternopil: Terno-graf, 2013.-284p.
5. Євтух П.С., Оробчук Б.Я., Рафалюк О.О. Автоматизована система диспетчерського керування електропостачанням районних електромереж / Вісник Національного університету «Львівська політехніка» Електроенергетичні та електромеханічні системи. –2008. –№1. –С.190-194.
6. Пітух І.Р. Метод та критерії оцінки емерджентності та характеристик архітектур інтерактивних розподілених комп'ютерних та кіберфізичних систем / Пітух І.Р. // Науковий збірник «Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології», (33), 2021.- С. 115-121.
7. Теорія та методологія побудови інтерактивних матричних моделей руху даних / Возна Н.Я., Пітух І.Р.// Поступ в науку. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. –Бучач 2010 - №6 Т1.- С.61-66.
8. I. Pitukh Study of the characteristics of electricity transmission in high-voltage network architectures under the conditions of dynamic influences of external factors /
- I. Pitukh, A.Sydor, B Krulikovskiy // Computer-integrated technologies: education, science, production, (51), Lutsk Ukraine, 2023. – P.181-187.

References

1. Carl Adam Petri. Nets, Time and Space. Theoretical Computer Science, 153 (12): 3-48, 1996.
2. Nikolaychuk Y.M. Theory of data movement models / Nikolaychuk Y.M., Pitukh I.R., Vozna N.Ya. – Ternopil: "Terno-graf", 2008.-216p.
3. Nikolaychuk Y.M. Design of specialized computer systems: Study guide / Y.M. Nikolaychuk, N.Ya vozna, I.R. Pitukh - Ternopil: "Terno-graf" LLC. 2010. – 392 p., illustrations.
4. Nykolaichuk Ya.M. Structuring the movement of data in computer systems / Ya.M. Nykolaichuk, N.Ya Vozna, I.R. Pitukh - Ternopil: Terno-graf, 2013.-284p.
5. Yevtukh P.S., Orobchuk B.Ya., Rafaliuk O.O. Automated system of dispatching control of electricity supply of district power grids / Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" Electric power and electromechanical systems. - 2008. - No. 1. - P. 190-194.
6. Pitukh I.R. Method and criteria for assessing the emergentness and characteristics of the architectures of interactive distributed computer and cyber-physical systems / I.R. Pitukh. // Scientific collection "Physico-mathematical modeling and information technologies", (33), 2021. - P. 115-121.
7. Theory and methodology of building interactive matrix models of data movement / Vozna N.Ya., Pitukh I.R.// Progress in science. Collection of scientific works of the Buchatsky Institute of Management and Audit. – Buchach 2010 - No. 6 T1.- P.61-66.
8. I. Pitukh Study of the characteristics of electricity transmission in high-voltage network architectures under the conditions of dynamic influences of external factors /
- I. Pitukh, A. Sydor, B Krulikovskiy // Computer-integrated technologies: education, science, production, (51), Lutsk Ukraine, 2023. – P.181-187

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-30>

УДК: 004.58

Поліщук Микола Миколайович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-1218-5925>

Цибень Дмитро Васильович, магістрант

Каплюк Юрій Іванович, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ МАШИНОГО НАВЧАННЯ ЗАСОБАМИ PYTHON

Поліщук М.М., Цибень Д.В., Каплюк Ю.І. Обробка інформації за допомогою машинного навчання засобами Python. У статті докладно розглядаються основні кроки та процеси використання машинного навчання для створення рекомендаційних систем. Розглянуто, як зберегти дані, навчити модель та створити зручний інструмент для рекомендацій жанрів фільмів на основі індивідуальних вподобань користувачів. Продemonстровано ключові кроки, від відбору даних до передбачення рекомендацій, як використовувати Python та потужні бібліотеки для досягнення цієї мети.

Ключові слова: машинне навчання, Python, обробка даних, персоналізовані рекомендації.

Polishchuk M., Tsyben D., Karpluk Y. Information processing using machine learning using Python. The article discusses in detail the main steps and processes of using machine learning to create recommender systems. It looks at how to store data, train a model, and create a user-friendly tool for recommending movie genres based on individual user preferences. The key steps, from data selection to recommendation prediction, are demonstrated on how to use Python and powerful libraries to achieve this goal.

Key words: machine learning, Python, data processing, personalized recommendations.

Вступ. У світі, де величезні обсяги даних надходять щоденно з найрізноманітніших джерел, ефективна обробка цієї інформації та виділення корисних з них стає важливим завданням [1]. Завдяки розвитку машинного навчання, ми маємо унікальну можливість використовувати алгоритми та моделі для автоматичного аналізу цих даних. Проте, існує низка проблем, які стоять перед дослідниками та фахівцями у цій області. Перша з них полягає у виборі найбільш підходящих методів та алгоритмів машинного навчання для конкретних завдань обробки даних. Друга проблема полягає у впровадженні та оптимізації цих методів з використанням Python, який став однією з найпопулярніших мов програмування для цієї цілі. У цьому контексті, поява питань про те, як ефективно використовувати інструменти машинного навчання на основі Python для обробки інформації та вирішення реальних завдань стає досить актуальною.

Постановка проблеми. Для більш детального розуміння постановки проблеми, слід відзначити, що в сучасному світі дані великої обсягу стають надзвичайно цінним ресурсом. Навряд чи знайдеться галузь, де б не було потреби в обробці та аналізі даних, і ця потреба постійно зростає. Водночас, Python, завдяки своїй легкості використання та багатству бібліотек для машинного навчання, став популярним інструментом для розв'язання цих завдань.

Проте, існують питання про оптимальність вибору методів та підходів для обробки даних в Python, а також про практичне застосування машинного навчання в реальних задачах. Отже, в цьому контексті, наша проблема полягає в розробці підходів і стратегій для оптимізації використання Python та інструментів машинного навчання для обробки інформації, а також у визначенні найкращих практик і методів вирішення проблем, пов'язаних з цією областю.

Викладення основного матеріалу. Машинне навчання (ML) представляє собою галузь штучного інтелекту, яка зосереджена на розвитку алгоритмів і моделей, які дозволяють системам автоматично набувати знання і навички з великих обсягів даних. Головна ідея полягає в тому, щоб система могла "навчатися" на даних та робити передбачення або приймати рішення без явної програмної інструкції.

Машинне навчання відіграє ключову роль у сфері обробки інформації [2], оскільки дозволяє автоматизувати процеси аналізу та використовувати великі обсяги даних для виявлення патернів, класифікації і прогнозування. Це застосовується в багатьох сферах, включаючи медицину, фінанси, маркетинг, транспорт, технології та багато інших. Python, завдяки своїм багатим бібліотекам і простоті використання, став основним інструментом для розробки і впровадження моделей машинного навчання у сфері обробки інформації, що дозволяє фахівцям здійснювати аналіз та отримувати цінні висновки з даних швидше та ефективніше [3].

Python відіграє визначальну роль у сфері машинного навчання з кількох важливих причин:

- Python відіграє визначальну роль у сфері машинного навчання з кількох важливих причин:
- Простота вивчення та використання: Python відомий своєю простотою та легкістю вивчення для початківців. Ця мова програмування має зрозумілий синтаксис та багатий набір бібліотек, що робить її доступною для широкого кола користувачів.
- Багатий екосистема бібліотек: Python має широкий вибір бібліотек, спеціально призначених для розробки машинного навчання та обробки даних. Бібліотеки, такі як NumPy, Pandas, scikit-learn, TensorFlow і PyTorch, надають інструменти для вивчення, аналізу та створення моделей машинного навчання.
- Загальна популярність та підтримка спільноти: Python є однією з найпопулярніших мов програмування в світі, що означає наявність великої активної спільноти розробників. Ця спільнота надає безліч ресурсів, від відкритих курсів до форумів підтримки, що сприяє обміну знаннями та розв'язанню проблем.
- Портативність та сумісність: Python працює на різних операційних системах і може легко інтегруватися з іншими мовами, що сприяє розробці масштабованих та портативних застосунків.
- Індустріальні застосування: Python широко використовується в промислових рішеннях для машинного навчання та обробки даних. Це означає, що компанії і організації, які вкладають ресурси в розробку Python-програм, можуть легко забезпечити собі підтримку та довгостроковий розвиток своїх проектів.

Усі ці фактори роблять Python сильним інструментом для машинного навчання і обробки інформації, забезпечуючи швидкий старт та можливість розвивати проекти в цій галузі з високою продуктивністю.

Машинне навчання – це галузь штучного інтелекту, яка займається розробкою алгоритмів та моделей, які навчаються на основі даних та дозволяють системам виконувати завдання без явного програмного коду [4]. Основні поняття в машинному навчанні можна поділити на кілька ключових категорій:

- Навчання з учителем (Supervised Learning). Це тип машинного навчання, де алгоритм навчається на основі пари вхідних даних і відповідних вихідних даних (ярликів). Іншими словами, алгоритм "навчається" на основі прикладів, де маємо вхідні дані та відомі правильні відповіді. Навчання з учителем використовується для задач, таких як класифікація (призначення об'єкта до однієї з кількох категорій) та регресія (прогнозування числового значення).
- Навчання без учителя (Unsupervised Learning). У цьому типі машинного навчання модель навчається на даних без явно визначених відповідей. Алгоритми намагаються знайти приховані структури або патерни в наборі даних. Навчання без учителя використовується для задач, таких як кластеризація (групування подібних об'єктів) та зменшення розмірності (скорочення кількості ознак, зберігаючи корисну інформацію).
- Підготовка даних (Data Preprocessing). Це процес очищення, перетворення та підготовки даних перед тим, як вони використовуються для навчання моделі. Включає в себе завдання, такі як обрізання відсутніх даних, нормалізація ознак, кодування категоріальних змінних та розділення даних на навчальний і тестовий набори. Правильна підготовка даних є критично важливою для досягнення високої якості моделі машинного навчання. Незадовільна підготовка може призвести до невірних результатів та погіршення роботи алгоритму.

Ці основні поняття є фундаментом машинного навчання та обробки даних, і їх розуміння є важливим для успішної роботи з цими технологіями.

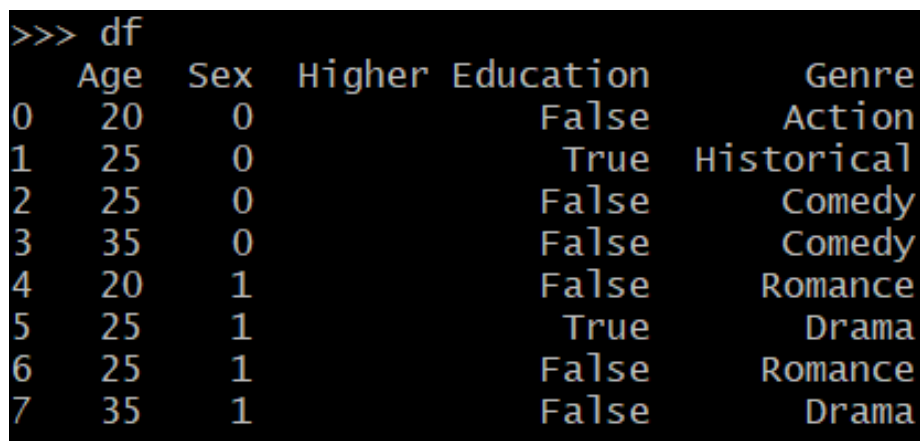
Приклад використання штучного інтелекту для вирішення задач.

Якщо потрібно вирішити задачу: визначити ідеальний жанр фільму для конкретної людини, то для досягнення цієї мети, використовується бібліотека Scikit-learn, яка надає широкий спектр інструментів для машинного навчання та аналізу даних [5].

Спочатку необхідно зібрати та підготувати дані, які будуть використовуватися штучним інтелектом для прийняття рішень щодо рекомендацій. Це включає в себе збір інформації про користувачів, їх улюблені жанри, вік, гендер та наявність вищої освіти. Ці дані вимагають обробки та перетворення в придатний для подальшого аналізу формат.

Для успішного вирішення завдання, першим та важливим етапом є генерація файлу у форматі CSV за допомогою бібліотеки Pandas. Цей файл буде важливим джерелом даних, які необхідні для подальшого аналізу та обробки. Пакет Pandas, завдяки своїм потужним інструментам для роботи з даними, дозволить мені створити структурований набір інформації, який буде включати дані про вік, гендер та наявність вищої освіти.

```
import pandas as pd # імпортуєм пакет pandas для генерації CSV файлу
# вставляєм в функцію DataFrame підготовлені завчасно дані
df = pd.DataFrame({'Age': [20, 25, 25, 35, 20, 25, 25, 35]
                    'Sex': [0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1], # 0 - Male, 1 – Female
                    'Higher Education': [False, True, False, False, False, True, False, False],
                    'Genre': ['Action', 'Historical', 'Comedy', 'Comedy', 'Romance', 'Drama', 'Romance',
'Drama']})
# записуєм дані в csv
df.to_csv('prepared_data.csv')
```



	Age	Sex	Higher Education	Genre
0	20	0	False	Action
1	25	0	True	Historical
2	25	0	False	Comedy
3	35	0	False	Comedy
4	20	1	False	Romance
5	25	1	True	Drama
6	25	1	False	Romance
7	35	1	False	Drama

Рис. 1. Вивід CSV в терміналі

Після успішної генерації та підготовки даних у форматі CSV, настав час перейти до наступного важливого етапу – запису цих даних в модель за допомогою бібліотеки Scikit-learn (sklearn). Scikit-learn - це потужна бібліотека для машинного навчання та статистичного аналізу даних, яка надає широкий спектр інструментів для створення, навчання та оцінки моделей.

```
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier # Імпорт класу із пакета sklearn
data = pd.read_csv('prepared_data.csv') # читання CSV файла
X = data.drop(columns=['Genre'])
y = data['Genre']
model = DecisionTreeClassifier() # виклик класу
model.fit(X.values, y)
```

Після успішного навчання моделі за допомогою бібліотеки Scikit-learn, настав час перейти до завершального кроку – збереження цієї моделі за допомогою бібліотеки joblib. joblib – це потужний інструмент для збереження та завантаження об'єктів Python, включаючи навчені моделі машинного навчання.

Зберігання моделі за допомогою `joblib` дозволить мені зберегти результати навчання та параметри моделі для подальшого використання без необхідності повторного навчання. Це особливо корисно, якщо моя рекомендаційна система має працювати в реальному часі та постійно оновлюватися.

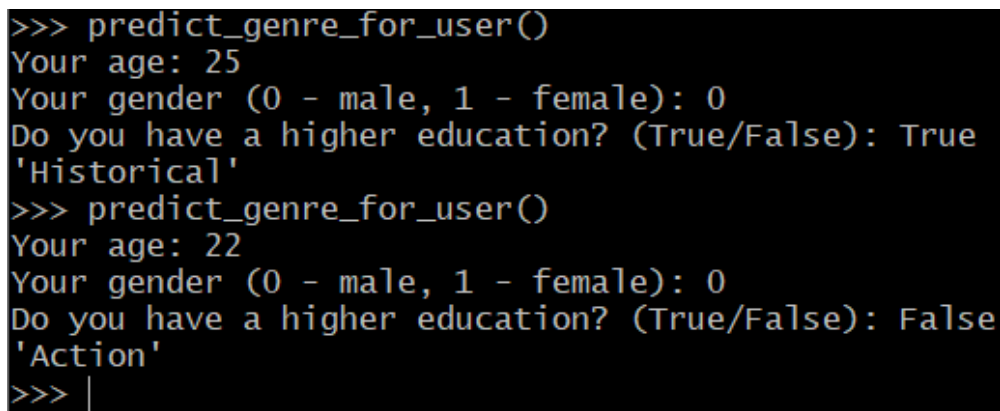
```
import joblib
joblib.dump(model, 'film-recommender.joblib') # збереження моделі
```

Тепер є збереження модель, завдяки якій можна перейти до виконання прогнозів. Я використаю навчену модель та передам в неї вхідну інформацію про конкретного користувача через функцію `input()`. Модель аналізуватиме цю інформацію і рекомендуватиме найкращий жанр фільмів для даного користувача.

Предикт та рекомендації стануть результатом використання машинного навчання та аналізу даних для створення персоналізованих рекомендаційних систем, які допоможуть користувачам знайти найкращий жанр фільмів, який найкраще відповідають їхнім індивідуальним смакам та вподобанням (рис. 2).

```
def predict_genre_for_user():
    model = joblib.load("film-recommender.joblib")
    age = input("Your age: ")
    sex = input("Your gender (0 - male, 1 - female): ")
    education = input("Do you have a higher education? (True/False): ")
    pred = model.predict([[age, sex, bool(education)]])[0]
    return pred
```

```
predict_genre_for_user()
```



```
>>> predict_genre_for_user()
Your age: 25
Your gender (0 - male, 1 - female): 0
Do you have a higher education? (True/False): True
'Historical'
>>> predict_genre_for_user()
Your age: 22
Your gender (0 - male, 1 - female): 0
Do you have a higher education? (True/False): False
'Action'
>>> |
```

Рис. 2. Вивід роботи функції `predict_genre_for_user()`

Також можна продемонструвати дерево рішень (рис. 3) по якому орієнтує ця штучний інтелект при виборі жанру фільмів для користувача, використовуючи даний код:

```
from sklearn import tree
tree.export_graphviz(model, out_file="film-recommender.dot",
    feature_names=["Age", "Sex", "Higher Education"],
    class_names=sorted(y.unique()),
    label="all",
    rounded=True,
    filled=True)
```

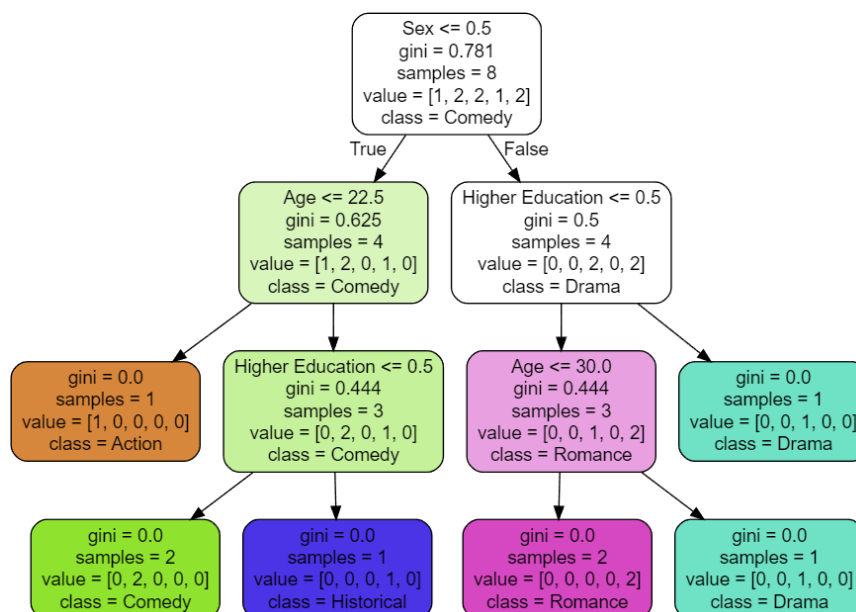


Рис. 3. Дерево рішень

Висновки.

У ході виконання роботи було розглянуто використання машинного навчання та мови програмування Python для обробки інформації. Ми розпочали з постановки завдання, підготовки даних та навчання моделі. Ми вивчили процес обробки та аналізу даних, включаючи підготовку та навчання моделі, а також збереження її для подальшого використання. Рекомендаційні системи, створені з використанням машинного навчання та Python, відкривають безмежні можливості для надання користувачам персоналізованих рекомендацій та покращення їхнього досвіду в споживанні контенту.

Список бібліографічного опису

1. Коротка історія штучного інтелекту. Український тиждень. URL: <https://tyzhden.ua/korotka-istoriia-shtuchnoho-intelektu/> (дата звернення: 5.09.2023).
2. The history of artificial intelligence - science in the news. Science in the News. URL: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/> (дата звернення: 6.09.2023)
3. Machine Learning, ML. IT-Enterprise – your one-stop ecosystem for reengineering | it.ua. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/machine-learning> (дата звернення: 10.09.2023).
4. Pedamkar P. Machine Learning Methods | Types of Classification in Machine Learning. EDUCBA. URL: <https://www.educba.com/machine-learning-methods/> (дата звернення: 20.09.2023).
5. Machine learning: the problem setting. scikit-learn. URL: <https://scikit-learn.org/0.21/tutorial/basic/tutorial.html> (дата звернення: 10.10.2023).

References

1. A brief history of artificial intelligence. Ukrainian week. URL: <https://tyzhden.ua/korotka-istoriia-shtuchnoho-intelektu/> (access date: 09/5/2023).
2. The history of artificial intelligence - science in the news. Science in the News. URL: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/> (access date: 09/6/2023).
3. Machine Learning, ML. IT-Enterprise – your one-stop ecosystem for reengineering | it.ua URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/machine-learning> (access date: September 10, 2023).
4. Pedamkar P. Machine Learning Methods Types of Classification in Machine Learning. EDUCBA. URL: <https://www.educba.com/machine-learning-methods/> (date accessed: 09/20/2023).
5. Machine learning: the problem setting. scikit-learn. URL: <https://scikit-learn.org/0.21/tutorial/basic/tutorial.html> (accessed 10/10/2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-31>

УДК 378.147.016:004.9

Поплавська Ганна Володимирівна, викладач

<https://orcid.org/0000-0002-1185-8868>

Лехіцький Тарас Володимирович, викладач

Корінчук Наталія Юрївна, викладач

Комунальний заклад вищої освіти Луцький педагогічний коледж Волинської обласної ради,
м. Луцьк, Україна

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИКЛАДАННЯ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ ІНФОРМАТИЧНО-МАТЕМАТИЧНОГО ЦИКЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.

Поплавська Г.В., Лехіцький Т.В., Корінчук Н.Ю. Сучасні методи викладання освітніх компонентів інформатично-математичного циклу з використанням інформаційних технологій. У статті розглянуто важливість інформаційних технологій у процесі викладання освітніх компонентів інформатики та математики, проаналізовано сучасні підходи їх викладання у Луцькому педагогічному коледжі.

Ключові слова: організація навчального процесу, освіта, методи викладання, інформаційні технології, програмне забезпечення.

Poplavskaya G., Lekhitsky T., Korinchuk N. Modern methods of teaching educational components of the informatics-mathematics cycle using information technologies. The article examines the importance of information technologies in the process of teaching educational components of informatics and mathematics, analyzes modern approaches to their teaching at the Lutsk Pedagogical College

Keywords: organization of the educational process, education, teaching methods, information technologies, software.

Постановка наукової проблеми.

У сучасному світі, коли інформаційні технології швидко розвиваються та залишаються успішними в будь-якій галузі, важливим є питання інтеграції цих технологій у навчальний процес, зокрема, у викладанні інформатики та математики. Проте, існує ряд проблем, які гальмують ефективну інтеграцію інформаційних технологій у навчання, що ставить під сумнів готовність сучасних навчальних закладів до викликів сучасності.

Низька компетентність вчителів:

Багато вчителів не володіють достатньою експертизою в галузі використання сучасних інформаційних технологій. Це створює бар'єр для впровадження новаторських методів навчання та використання доступних інструментів.

Відсутність деяких ресурсів:

Багато навчальних закладів не мають достатньої технічної бази та програмного забезпечення для ефективного використання інформаційних технологій. Це об'єднує можливості студентів та вчителів у розвитку та використанні сучасних навчальних методів.

Страх перед змінами та ризиком невдачі:

Часто вчителі та адміністрація навчальних закладів бояться впровадження інновацій через можливий опір студентів, бюрократичні обмеження та можливості труднощів при переході до нових методів викладання.

Відсутність використання стандартизованих технологій у підходах та рівнях різних навчальних закладів.

Недостатня орієнтованість на студента:

Деякі системи навчання можуть бути орієнтовані більше на традиційні методи, ніж на індивідуалізовані потреби студентів. Це може призвести до втрати інтересу та мотивації студентів.

Відсутність системного підходу:

Багато навчальних закладів можуть використовувати інформаційні технології лише як додатковий елемент, а не як основний інструмент у викладанні.

Розв'язання цієї проблеми потребує спільних зусиль викладачів, адміністрацій, педагогічних методистів та розробників програм, зокрема, розроблення програми підвищення кваліфікації вчителів, вдосконалення технічної бази навчальних закладів та створення стимулюючих умов для впровадження інновацій.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання щодо використання сучасних інформаційних технологій у навчально-виховному процесі займають особливе місце та потребують досконалого вивчення. Цьому присвячені праці таких вчених, як: С. В. Адоніна, І. В. Гевко, В. Черняхівський, Колесник Ю. М., Авраменко М. О., Моргунцова С. А., Рижов О. А., Р. Собко, та ін. Аналізу інноваційних технологій і методів навчання присвячені дослідження А. Алексюка, С. Гончаренка, Р. Гуревича, А. Павленко, О. Пехоти, О. Пометун, С. Стеценко, Л. Пироженко та ін. Проте не дивлячись на значний внесок науковців, деякі питання цієї теми все ще залишаються мало вивченими [1].

Формулювання мети статті.

Метою даної статті є висвітлення сучасних методів викладання освітніх компонентів інформатики та математики, акцентуючи увагу на їхньому інноваційному характері, з використанням інформаційних технологій. Стаття спрямована на аналіз інноваційних підходів у сфері навчання, висвітлення їх впливу на розвиток студентів, а також обґрунтування доцільності впровадження цих інновацій як результату наукових досліджень та передового педагогічного досвіду.

Основні результати досліджень.

Сьогодні важко встановити ефективну освітню систему без активного використання інформаційних технологій, зокрема комп'ютерної техніки та глобальної мережі, у навчальному процесі. Впровадження сучасних методів навчання в Луцькому педагогічному коледжі з використанням новітніх технологій стає додатковою, обумовленою зміною ролі викладача, який тепер виступає не лише як посередник знань, але й як організатор інтерактивного та інноваційного навчання.

За статистичними даними, більше 80% навчальних занять викладаються у форматі, де викладач викладає і студент слухає уважно. Цей метод ефективний для близько двадцяти відсотків студентів, які успішно засвоюють матеріал і стають "відмінниками". Однак для решти студентів такий підхід не є оптимальним, в результаті чого вони стають так званими «студентами низького рівня знань». Вони краще засвоюють знання через емпіричну практичну діяльність.

Для цієї категорії студентів особливо важливо використовувати технології, які базуються на дослідницькій діяльності, де вони можуть дозволити пошук рішень, формулювання та підтвердження гіпотез. Такі методи мають обґрунтування у системі наукових досліджень, адаптованих до особливостей студентів, включаючи спостереження, вимірювання, експерименти, дослідження та опитування.

Використання інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та навчальних гіперсередовищ відкриває можливість для «відстаючих» студентів освоювати матеріал у власному темпі. Гіперсередовища передбачають використання різних інтерактивних етапів для переходу від символічного до образного мислення, надаючи можливість студентам активно взаємодіяти з навчальним матеріалом.

Ключовим аспектом впровадження інформаційних технологій є їх новизна, тому для педагога в процесі інноваційного навчання важливо чітко розуміти сутність новаторських змін. У цьому контексті активна участь викладачів в інноваційній діяльності стає ключовим елементом. Педагогічні інновації включають у себе різноманітні аспекти, такі як зміст навчального матеріалу, використання технічних засобів, педагогічних технологій, методик та ін.

У контексті примусової дистанційної освіти завданням викладача стає не лише передача інформації, а й організація доступу до її засобів її обробки. Дистанційне навчання стає можливістю зробити навчальний процес більш динамічним і яскравим, сприяючи глибокому освоєнню знань. Цей формат також сприяє створенню єдиного інформаційно-освітнього простору через використання Інтернет-технологій та забезпечує прямий і зворотний зв'язок між викладачем і студентом. Інформація, отримана в процесі такого спілкування, стає особистим навчальним досвідом студента, а роль викладача трансформується в викладача, який готовий студента у самостійній освітній діяльності. Використання сучасних методів навчання стає необхідною умовою для сучасного вищого навчального закладу.

КЗВ «Луцький педагогічний коледж» не тільки не відстає від загальних тенденцій, але й активно вдосконалює якість освітніх послуг, впроваджуючи передові інноваційні методи навчання. Викладачі природничо-математичних дисциплін приділяють значну увагу використанню сучасних

інтерактивних методів і технологій під час лекцій та практичних занять, використовуючи такі платформи, як Skype, Zoom, Microsoft Teams, а також Viber, YouTube, Telegram, Instagram та інші.

У класичному варіанті навчання викладач виступає в основному постаттю, керуючи процесом вивчення тем на лекціях, практичних і семінарських заняттях. При цьому оціночні засоби, такі як теоретичне опитування, тестування, розв'язання ситуаційних завдань та індивідуальні завдання, застосовуються для моніторингу рівня знань студентів. Викладач також має обмежений обсяг часу для розгляду великого обсягу навчального матеріалу.

В сучасних умовах завданнями вищих навчальних закладів стає не лише підготовка фахівця, а й формування висококваліфікованого професіонала, здатного ефективно вирішувати завдання в нестандартних ситуаціях. Виникає потреба використання сучасних методів викладання для розвитку критичного мислення, практичних навичок та здатності швидко реагувати на зміни у професійній сфері.

Серед різних типів навчальних систем виділяють такі:

- Тренувальні системи:

Призначені для закріплення та підтримки знань, умінь і навичок.

- Когнітивні системи:

Орієнтовані на засвоєння понять, які використовуються для організації навчального процесу згідно з програмами програмованого навчання.

- Проблемне навчання:

Орієнтоване на вирішення навчально-пізнавальних завдань та використовує принципи непрямого управління навчальним процесом.

- Імітаційні і моделюючі системи:

Призначені для імітації та моделювання різних процесів, явищ, ситуацій суспільного життя тощо.

- Ігрові системи:

Використовують гру як форму та метод досягнення навчальних цілей.

- Довідниково-інформаційні системи:

Включають бази знань, словники, енциклопедії, інформаційно-пошукові системи тощо.

Навчальні системи можуть бути класифіковані за способом обміну повідомленнями між студентом і системою на синхронні та асинхронні. У синхронних системах навчання чітко визначено графік проведення та жорстко регламентується викладачем. У асинхронних системах навчання час та темп навчання визначаються студентом.

Розглядаючи нові технології викладання, важливо висвітлити ті, які можуть функціонувати як автономні елементи в освітньому процесі:

Модульні форми навчання: Цей підхід спрямований на підвищення активності студента у самостійному вивченні матеріалу. Студент бере на себе більшу відповідальність за результат своєї роботи, а викладач виступає організатором і контролером, ставлячи ключові завдання та перевіряючи засвоєні знання.

Використання Інтернету: Інтернет-користування як ефективний інструмент навчання. Це може включати методику викладання з використанням інформаційних сайтів або використання мережі як допоміжного інструменту при модульній формі навчання (розсилка завдань, надсилання виконаних робіт, взаємодія студентів з оцінками тощо).

Одним з ключових факторів, який підвищує цінність нових методів викладання з використанням інформаційних технологій, є підвищення ефективності використання часу студента та викладача. Крім того, використання дистанційних методів навчання дозволяє студентам ефективно засвоювати програмний матеріал, взаємодіяти з викладачем через електронну пошту та месенджери, отримувати та виконувати індивідуальні завдання в зручний для них час.

Скорочення загального обсягу аудиторного навантаження і розвиток навичок самостійної роботи можливе також і при використанні модульного навчання, яке найбільш доцільно використовувати при вивченні студентами дисциплін спеціалізації [2].

Слід відзначити, що електронні технології, які використовуються в дистанційному навчанні, можна розділити на три основні категорії: неінтерактивні (такі як друковані матеріали, паперові носії, аудіо- та відеоносії), засоби комп'ютерного навчання (електронні підручники, комп'ютерне тестування та контроль знань, передові засоби мультимедіа) та відеоконференції - розвинути засоби телекомунікації через аудіо-, відео-канали та комп'ютерні мережі.

У зв'язку з цим можна виділити різні форми занять, які проваджуються викладачами інформатики та математики дистанційно за допомогою комп'ютерних телекомунікацій:

Веб-заняття: Включає веб-форуми, дистанційні уроки, конференції, семінари, ділові ігри, лабораторні роботи, практикуми.

Чат-заняття: Використання чат-технології для взаємодії та обговорення.

Телеконференції: використання електронної пошти та інших мережевих засобів для віддаленого обговорення тем.

На сьогодні додатково необхідно відзначити використання зростання презентацій, тестувань, заходів форумів, квестів та телеконференцій у викладацькій діяльності. При викладанні освітніх компонентів інформатично-математичного циклу викладачі використовують сучасні методи викладання із застосуванням інформаційних технологій, що включають в себе відеолекції, електронні курси, кейси, онлайн-роботу, телекомунікаційні проекти, веб-квести та інші інноваційні підходи.

Сучасна вища освіта широко використовує формати онлайн та електронні курси як важливий елемент навчального процесу. Ці курси доповнюють стандартну очну освіту та включають підтримку від викладача.

Електронні курси створені на базі підручників та навчальних посібників, використаних у короткому форматі, з використанням мультимедійних матеріалів, таких як гіпертекст, підбірки посилань, відео-прикладів та ін. З іншого боку, онлайн-курси замінюють текст відео-лекціями, використовуючи інфографіку. Важливо відзначити, що у випадку онлайн-курсів викладач виступає як викладач, сприяючи вивченню студентами матеріалу та надаючи допомогу у закріпленні отриманих знань.

Обидва вищерозглянуті сучасні методи викладання в закладах вищої освіти включають практичні завдання, спрямовані на перевірку рівня знань студентів. Однак, при оцінці доцільності їх застосування, слід контролювати контекст навчального предмету, цілого викладання та можливості студентів.

Особливий акцент сучасних методів викладання, зокрема онлайн- та електронних курсів, дозволяє використовувати інтерактивні форми в рамках аудиторних занять. Лекції-конференції, круглі столи та аналіз конкретних ситуацій стають основою навчання, де студенти мають можливість не тільки засвоїти тематичний матеріал, але й розвивати комунікативні навички, роботу в команді, вміння виражати та відстоювати свою точку зору.

Застосування технологій, таких як презентації, електронні підручники, розсилка питань і основних джерел для підготовки до заняття, форуми та тестування, стає необхідним елементом підготовки до аудиторних занять. Високоєфективний зв'язок між викладачем і студентом у педагогічному процесі виробляє не лише організаційні аспекти навчання, але і сприяє розвитку комунікативних компетенцій студентів.

Ще одним сучасним методом викладання, який практикують викладачі інформатики та математики в Луцькому педагогічному коледжі з використанням інформаційних технологій, є телекомунікаційні проекти. Це спільна діяльність студентів, спрямована на навчання, дослідження, творчість або гру, організована за допомогою комп'ютерних телекомунікацій.

Використання проектною організації навчання інформаційними технологіями дозволяє досягти ряд важливих цілей:

Розвивати творчі здібності та практичні навички у студентів.

Залучати студентів до активного та самостійного процесу навчання.

Підвищувати зацікавленість у навчанні та спільній роботі в групах, розвивати комунікативні навички.

Ефективно працювати з інформаційними ресурсами тощо.

Такі творчі проекти передбачають взаємодію студентів і викладачів, встановлення партнерських відносин та активну участь студентів у реалізації проекту. Ключовими факторами ефективності студентської роботи над проектом є формування стабільної бази знань та система контролю за їх правильним засвоєнням.

Ще одним сучасним методом викладання в Луцькому педагогічному коледжі є веб-квест, який включає елементи проблемного завдання та ролівої гри. Учасник, використовуючи інтернет-ресурси, розв'язує завдання за певним порядком дії, щоб отримати потрібний результат.

Творчі проекти, які реалізують студенти, в основному є нетрадиційними та вимагають творчого підходу. Викладач вибирає основні параметри та вказує оптимальні шляхи розв'язання, залишаючи структуру проекту відкритою. Планування результату є ключовим етапом виконання творчого проекту, що стимулює мотивацію та активізує пізнавальну активність студентів. Такі проекти допомагають розвивати практичні навички та сприяють глибокому засвоєнню тематичного матеріалу.

Використання відео- та аудіо-матеріалів, а також мультимедійних технологій дає можливість яскраво представити зміст досліджуваного матеріалу. Це завдяки глибокому розумінню тематики та ефективності навчання. Використання сучасних інформаційних технологій в навчанні дозволяє студентам взаємодіяти з широкими обсягами довідкової інформації та досліджувати оновлення в контексті світових наукових досягнень.

Система освіти, незважаючи на різко виражену потребу в більш широкому впровадженні високих освітніх технологій, сама по собі є каталізатором процесу інформатизації суспільства, інструментом формування інформаційної культури людини та підготовки професіоналів нового типу.

Один із характерних рис сучасного виховання є індивідуальний підхід до навчання, мотивації, активності, самостійності здобувача освіти. Важливими особливостями сучасного освіти є збільшення відсотка самостійної роботи в процесі навчання та широке використання інтерактивних форм навчання. Застосування разом із традиційною формою навчання вказаних інтерактивних методів дозволяє вдосконалити професійний рівень на основі постійного розширення числа практичних ситуацій, розвиває логічне та образне мислення.

Сучасні засоби навчання з використанням інформаційних технологій у навчальних закладах вищої освіти дозволяють підвищити якість освіти, так як застосування активних форм навчання і передових освітніх технологій підвищує активність і самостійність студента при вивченні матеріалу. Інтерактивна взаємодія сприяє особистісно-орієнтованому підходу в освіті, передбачуваному самонавчанню (колективне, співробітництво), при цьому і викладач, і студент є суб'єктами навчального процесу.

Отже, сучасні методи викладання освітніх компонентів інформатично-математичного циклу в Луцькому педагогічному коледжі з використанням інформаційних технологій формують роль сучасного викладача, перетинаючи його функцію не лише як носій знань, а й у визначенні викладача, який ініціює творчий пошук студента.

Висновки. Отже, застосування сучасних методів викладання в Луцькому педагогічному коледжі з використанням інформаційних технологій підтверджує їхню ефективність, необхідність і величезний потенціал для вдосконалення навчання. З розвитком інформаційно-комунікаційних технологій зростає популярність використання електронних методів в навчанні. Інтерактивні методи, впроваджені в Луцькому педагогічному коледжі, сприяють збільшенню самостійної роботи студентів при освоєнні навчального матеріалу.

Глобальна комп'ютеризація, розширення інтерактивних технологій та їх широке застосування в освітньому процесі мають величезний потенціал для формування нового покоління випускників коледжу, висококваліфікованих фахівців, здатних успішно впроваджувати сучасні інформаційні технології у своїй професійній діяльності.

Список бібліографічного опису

1. Адонін С. В., Куряча Н. В. Сучасні методи викладання з використанням інформаційних технологій. *Ефективна економіка*. 2021. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8790> (дата звернення: 13.11.2023). DOI: [10.32702/2307-2105-2021.4.85](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.85)
2. Арістова А.В. Інноваційні технології навчання: навчальний посібник. Київ: НТУ, 2017. 172 с.
3. Полянська А.С. Круглий стіл: Інноваційні методи викладання у вищій школі: обмін досвідом та кращі практики. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 19 с.

References

1. Adonin S. V., Kuryacha N. V. Modern teaching methods using information technologies. *Efficient economy*. 2021. No. 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8790> (access date: 11/13/2023). DOI: [10.32702/2307-2105-2021.4.85](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.4.85)
2. Aristova A.V. Innovative learning technologies: a study guide. Kyiv: NTU, 2017. 172 p.
3. Polyanska A.S. Round table: Innovative methods of teaching in higher education: exchange of experience and best practices. Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2020. 19 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-32>

УДК 004.021

Старченко В'ячеслав Володимирович, старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-7039-2332>

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

АЛГОРИТМИ ФРАКТАЛЬНОГО СТИСНЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Старченко В.В. Алгоритми фрактального стиснення зображень. Робота присвячена розгляду ключових аспектів та проблем застосування методів фрактального стиснення двовимірних зображень. Розглянуті особливості алгоритмів фрактальної компресії та відновлення зображень. Визначені шляхи підвищення швидкості роботи алгоритмів за рахунок оптимізації обмеження глибини рекурсії.

Ключові слова: фрактал, топологічна розмірність, рекурсія, L-система, система ітеруючих функцій, афінне перетворення, аттрактор, домен, ранг.

Starchenko V. Images fractal compression algorithms. The work is devoted to the consideration of key aspects and problems of applying methods of fractal compression of two-dimensional images. Features of fractal compression and image restoration algorithms are considered. Ways to increase the speed of the algorithms by optimizing the recursion depth limit are determined.

Keywords: fractal, topological dimension, recursion, L-system, Iterated Function Systems, affine transformation, attractor, domain, rank.

Вступ.

Фрактали зустрічаються скрізь, де закінчуються правильні форми евклідової геометрії. Все, що створено людиною, обмежено площинами. Якщо зустрічається природний об'єкт, то з першого погляду видно, що усвідомити та описати його форму з усіма дрібними деталями можна лише приблизно. Тут на допомогу приходять фрактали [1].

Термін "фрактал" (від латинського слова "fractus" – дріб) введений бельгійським математиком Бенуа Мандельбротом і позначає множину, що має дрібну фрактальну розмірність. Для пояснення фрактальної розмірності необхідно запровадити поняття топологічної розмірності [2]. Під топологічною розмірністю Dt множини у лінійному просторі розуміють число лінійно незалежних координат у просторі. Наприклад, коло та лінія мають топологічну розмірність 1; коло та квадрат – 2; куля і куб – 3. Фрактальна розмірність множини D – розмірність того простору, який повністю заповнюється множиною [3]. Для зв'язку фрактальної та топологічної розмірностей використовують показник Херста H , який обчислюється за формулою: $H = D - Dt$. Фракталом називають множину, фрактальна розмірність якої не збігається з топологічною [4]. Наприклад, для кривих Пеано (криві, що заповнюють площину), $Dt = 1$, $D = 2$. Існують два основні способи побудови фракталів. Перший спосіб – використання L-систем (від імені Lindenmayer), другий спосіб – застосування системи IFS (англ. Iterated Function Systems).

Постановка наукової проблеми.

Об'єктом дослідження є методи підвищення ефективності алгоритмів фрактального стиснення двовимірних зображень.

Предметом дослідження є алгоритми фрактального стиснення двовимірних зображень та способи обмеження глибини рекурсії для прискорення їх роботи.

Метою роботи є визначення основних перспективних напрямків прискорення алгоритмів фрактального стиснення зображень за допомогою оптимального вибору обмежень на їх рекурсивну складову.

Аналіз досліджень

За допомогою фракталів можна стискати довільні зображення з деякою втратою якості, аналогічно стиску за алгоритмом JPEG. При цьому, фрактальне стиснення дає найкращі результати [5]. Методи компресії, засновані на алгоритмах RLE, Huffman або LZW, не враховують природи даних, що стискаються, і тому дають незадовільні результати при обробці зображень. При фрактальному стисненні зображення переводиться у формат IFS, який значно економніший, ніж просто BITMAP або LZW. Стиснення JPEG засноване на дискретному синусно-косинусному перетворенні (дискретне перетворення Фур'є), яке переводить зображення в амплітудно-фазову форму. Спотворення в області високих частот не сильно впливають на якість вихідних зображень, тому їх частково відкидають, а частково фільтрують низькочастотним фільтром з наступним стисненням за допомогою RLE. Тому метод JPEG дає погані результати на зображеннях, що містять

тонкі лінії (текст або креслення). Для того щоб отримати прямокутний сигнал, а тонка лінія саме таким сигналом і є, необхідно використовувати область високих частот, які у випадку JPEG фільтруються, піддаючись при цьому спотворенню [6].

L - системи

L-система – це граMATика деякої мови (досить простої), яка описує ініціатор і перетворення, що виконується над ним. Розглянемо класичний приклад фрактальної множини – триадну криву Коха (Рис. 1). Побудова кривої починається з одиничного відрізка, який називається ініціатором і є передфракталом 0-го порядку. Далі ініціатор замінюється на утворюючий елемент – криву з чотирьох прямолінійних ланок, кожна з яких має довжину $1/3$. Так утворюється передфрактал 1-го порядку. Його довжина дорівнює $4/3$. Для побудови передфрактала наступного порядку кожна ланка замінюється зменшеним утворюючим елементом. В результаті отримуємо криву, що складається з $4 \times 4 = 16$ ланок, кожна з яких має довжину $(1/3) / 3 = 1/9$, загальна довжина дорівнює $16/9$. Довжина передфрактала n -го порядку дорівнює $(4/3)^n$ у ступені n . Очевидно, що межа довжини кривої при n , що прагне до нескінченності, дорівнює нескінченності.

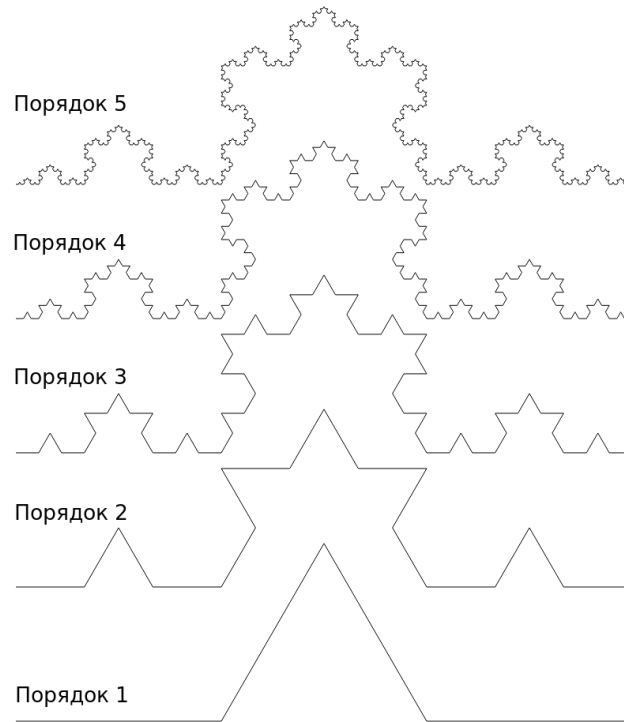


Рис. 1. Фрактал Коха

L-системи призначені для генерування передфракталів заданого порядку. Ця властивість відрізняє їх від IFS, призначених для побудови самих фракталів.

Системи ітеруючих функцій (IFS)

Система ітеруючих функцій – це сукупність афінних перетворень, що стискають. Як відомо, афінні перетворення включають масштабування, поворот і паралельне перенесення. Афінне перетворення вважається таким, що стискає, якщо коефіцієнт масштабування під час його виконання менше одиниці [7].

Розглянемо докладніше побудову кривої Коха із використанням афінних перетворень. Кожен новий елемент кривої містить чотири ланки, отримані з утворюючого елемента використанням масштабування, повороту та перенесення:

- 1) для отримання першої ланки достатньо стиснути вихідний відрізок утричі. Слід зазначити, що те саме масштабування застосовується для всіх ланок;
- 2) наступна ланка будується з використанням всіх можливих перетворень, а саме: стиснення в три рази, поворот на мінус 60° і паралельне перенесення на $1/3$ по вісі X .
- 3) третя ланка будується аналогічно другій: стиснення в три рази, поворот на 60° , паралельне перенесення на $2/3$ по вісі X ;
- 4) остання ланка: стиснення втричі, паралельне перенесення на $2/3$ по вісі X .

Тепер можна знайти систему функцій IFS для опису кривої Коха. Для цього треба зробити суперпозицію афінних перетворень – масштабування, повороту та паралельного перенесення.

З курсу лінійної алгебри відома формула обчислення нових координат x' , y' за афінними перетвореннями:

$$\begin{aligned}x' &= a \times x - b \times y + e, \\y' &= c \times x - d \times y + f, \\a &= \text{scale_x} \times \cos(\alpha), \\b &= \text{scale_x} \times \sin(\alpha), \\c &= \text{scale_y} \times \sin(\alpha), \\d &= \text{scale_y} \times \cos(\alpha), \\e &= \text{move_x}, \\f &= \text{move_y},\end{aligned}$$

де scale_x – масштабування по вісі X ;

scale_y – масштабування по вісі Y ;

α – кут оберту;

move_x – паралельне перенесення вздовж вісі X ;

move_y – паралельне перенесення вздовж вісі Y .

Отримані коефіцієнти a , b , c , d , e , f для кожної ланки складуть необхідну систему функцій, що ітерують.

Коефіцієнти афінного перетворення IFS усіх ланок кривої Коха зведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Коефіцієнти афінного перетворення IFS усіх ланок кривої Коха

№ ланки	a	b	c	d	e	f
1	0,3333	0,0000	0,0000	0,3333	0,0000	0,0000
2	0,1667	-0,2887	0,2887	0,1667	0,3333	0,0000
3	-0,1667	0,2887	0,2887	0,1667	0,6666	0,0000
4	0,3333	0,0000	0,0000	0,3333	0,6666	0,0000

Афінне перетворення для однієї ланки є масштабуванням на коефіцієнт $1/3$ – 0,3333. Коефіцієнти для першої та останньої ланок кривої Коха практично ідентичні та відрізняються лише паралельним перенесенням по вісі X (коефіцієнт e).

Друге і третє перетворення включають не тільки масштабування і перенесення, а й оберт на 60° і мінус 60° . Тут коефіцієнти обчислюються так:

$$\begin{aligned}0,1667 &= 1/3 \times \cos(60); \\-0,2887 &= 1/3 \times [-\sin(60)].\end{aligned}$$

Для синтезу фракталу вибирається початкова точка, до якої застосовується випадково обране з IFS-перетворення, в результаті чого точка переміщується в інше місце пристрою відображення. Ця операція повторюється багато разів (достатньо 100 ітерацій), і через деякий час точка починає блукати по атрактору (атрактор – множина всіх можливих траєкторій), який і буде зображенням фракталу. Кожне нове положення точки фарбується кольором, відмінним від фону. Існує теорема, що доводить, що отриманий атрактор буде замкненим. Якщо вибрати початкову точку так, щоб вона відразу опинилася на атракторі, то вона починає блукати в області цього атрактора, не потрапляючи у інші частини пристрою відображення. Розглядаючи кожне перетворення окремо, можна помітити, що після кількох ітерацій, точка перестане рухатися. Точка зупинки називається нерухомою точкою – це рішення системи лінійних рівнянь двох змінних, яке шукається методом простої ітерації. Нерухома точка кожного перетворення входить до складу атрактора. Тому за початкову точку при побудові фракталу можна взяти нерухома точку першого перетворення з набору IFS.

Збільшуючи роздільну здатність пристрою відображення або масштаб, можна побачити нові частини фракталу, які будуть схожі на весь фрактал. Це найважливіша ознака фракталу – самоподібність.

Якщо для побудови фракталу використовувати систему ітеруючих функцій, то можна отримати зображення, деталізація якого обмежена лише роздільною здатністю пристрою відображення, на відміну від побудови, що ґрунтується на L-системі, де точність залежить від заданого порядку передфракталу. Щоб отримати високу роздільну здатність з використанням L-

систем, необхідно задавати великий порядок передфракталу, але оскільки побудова заснована на рекурсивному алгоритмі, відповідно збільшується глибина рекурсії і, як наслідок, уповільнення процесу побудови.

Фрактальне стиснення зображень

Вперше можливість застосування теорії IFS до проблеми стиснення зображення було досліджено Майклом Барнслі. Арнольд Жакін (в 1992 році – аспірант Майкла Барнслі) представив метод фрактального кодування, в якому використовуються системи доменних та рангових блоків зображення (англ. domain and range subimage blocks) квадратної форми, що покривають усе зображення. Цей підхід став основою більшості методів фрактального кодування [8]. Згідно з цим методом зображення повинно бути розбите на велику кількість рангових зображень R , що не перекриваються, також визначається множина неперетинних доменних зображень D . Для кожного рангового блоку алгоритм кодування знаходить найбільш оптимальний доменний блок та афінне перетворення, яке перетворює цей доменний блок на даний ранговий блок. Структура зображення відображається в системі рангових блоків, доменних блоків та перетворень. Блок-схема типового алгоритму фрактальної компресії наведена на Рис. 2. Ідея методу полягає в наступному: припустимо, що вихідне зображення є нерухомою точкою якогось стискаючого відображення. Тоді можна замість самого зображення запам'ятати це відображення, а для відновлення досить багаторазово застосувати це відображення до будь-якого стартового зображення. За теоремою Банаха [9], такі ітерації завжди призводять до нерухомої точки, тобто до початкового зображення [10].

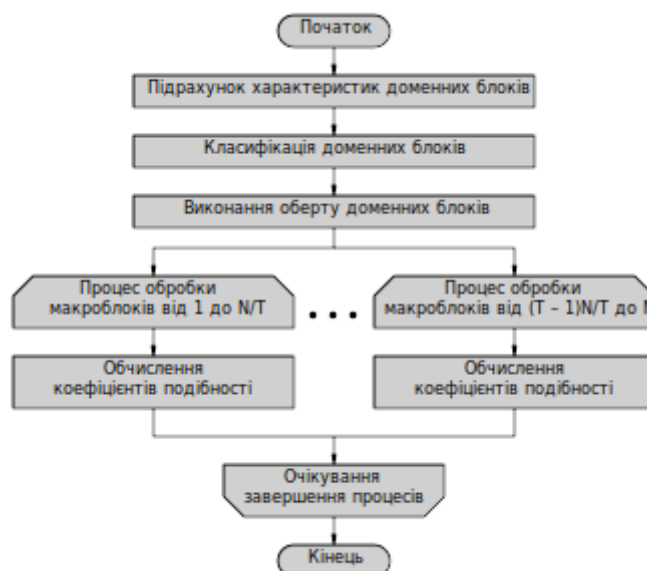


Рис. 2. Алгоритм фрактальної компресії

Стиснення відбувається таким чином. Зображення розбивається на частини множиною R і покривається множиною D . Причому елементи множини D більші за площею, ніж R . Для кожного елемента $R(i)$ перебираються всі елементи множини D і будуються афінні перетворення $R(i) \rightarrow D(j)$. Зі всіх перетворень вибирається одне, що відбувається з найменшою похибкою. Афінне перетворення виконується за трьома координатами – X , Y , C (Колір). Наведемо це перетворення:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b & 0 \\ c & d & 0 \\ 0 & 0 & s \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x \\ y \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ f \\ 0 \end{bmatrix}$$

де a, b, c, d, e, f — коефіцієнти перетворення на площині;

s — контрастність;

o — яскравість.

Інші коефіцієнти дорівнюють 0, тому що немає потреби пов'язувати зміну кольору з перетворенням координат. Від числа перетворень, тобто потужності множини R , залежить ступінь компресії, адже на кожне перетворення потрібно 8 чисел. Множина таких перетворень і становить шукану систему ітеруючих функцій.

Розбиття на R та покриття D є найскладнішою частиною алгоритму. У найпростішому випадку це робиться так: зображення розбивають регулярною сіткою $R(i)$ по 8×8 пікселів. Для кожного $R(i)$ перебирають усі можливі $D(j)$ по 16×16 (причому є 8 варіантів для кожного квадрата – 4 повороти на 90° та дзеркальна симетрія). Для кожного $R(i)$ вводять своє найкраще перетворення, а потім шукають мінімальне покриття вихідного зображення з наявних $D(j)$. Залишають ті перетворення, які потрібні для мінімального покриття. Один з варіантів такого ділення наведено на Рис. 3.

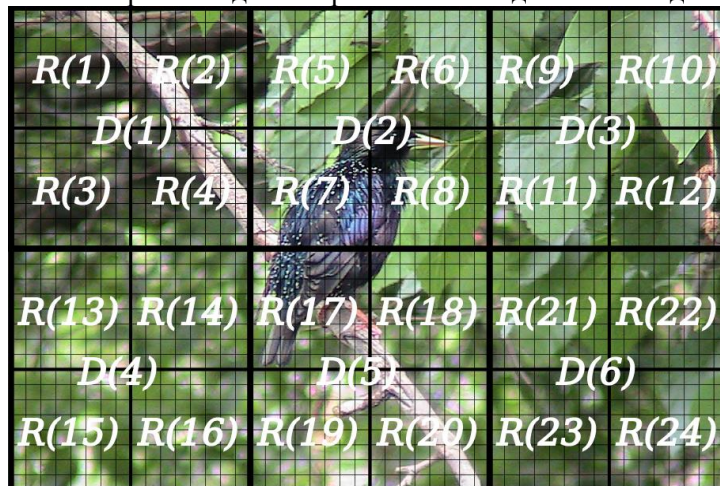


Рис. 3. Один з можливих варіантів розбиття зображення на доменні (D) та рангові (R) блоки

Декомпресія виконується таким чином. Обирається початкове зображення, з якого буде побудований оригінал. Від вибору початкового зображення залежить швидкість стабілізації зображення, тобто час декомпресії. До кожного елемента множини R (тобто квадрату 8×8 з ініціатора) застосовують випадково обране афінне перетворення з наявної системи ітеруючих функцій. В результаті такої дії елементи зображення копіюються в інші частини пристрою відображення зі зміною орієнтації, яскравості та контрасту. Після того, як усі $R(i)$ перебрані, починається усе спочатку. За теоремою про систему стискаючих афінних перетворень зображення прагнуть до стабільності. Зазвичай достатньо 10 – 20 ітерацій [11].

При компресії можна не зберігати оригінальні розміри зображення, достатньо запам'ятати їх співвідношення. А під час декомпресії – задавати ті розміри, які потрібні. Така можливість дозволяє вирішити завдання екстраполяції початкового зображення. При встановленні нових розмірів, що перевищують старі, до нового зображення додадуться елементи, подібні до інших елементів зображення. І якщо обробляється природний об'єкт з регулярною текстурою, підміна не буде помітна.

Основна проблема фрактального стиску – це те, що декомпресія виконується швидко і однозначно, тоді як пряма процедура (компресія) вимагає від системи великих обчислювальних потужностей. Другою проблемою є отримання оптимального перетворення $R(i) \rightarrow D(j)$.

Основні напрямки щодо прискорення фрактального алгоритму стиснення є такими:

- удосконалення схеми розбиття зображення на ранги;
- прискорення порівняння рангу та домену;
- обмеження кількості доменів, що беруть участь у порівнянні з цим рангом шляхом класифікації рангових та доменних блоків.

Для покращення схеми розбиття зображення її організація повинна здійснюватися у два етапи:

- 1) розділити покриття зображення ранговими блоками, тобто сформувати грубу версію схеми розбиття;
- 2) відкинути області, що повністю перекриваються сусідніми рангами.

У сучасних алгоритмах фрактального стиснення найчастіше використовуються такі схеми розбиття:

- 1) квадродререво — схема розбиття у вигляді дерева, вузли якого відповідають квадратній області зображення. Кожен вузол містить у собі чотири підвузли, які відповідають чотирьом підобластям цього квадрата. Схема не дозволяє додавати довільну кількість блоків, тому блоки меншого розміру додаються лише групами по чотири. Блоки найбільшого розміру утворюють сітку,

до якої прив'язана вся схема розбиття зображення на рангові блоки, утворену блоками найбільшого розміру;

2) мозаїка — схема розбиття початкового зображення за якою воно ділиться на блоки різного розміру, прив'язані до сітки, що складається з блоків найменшого розміру. У порівнянні з алгоритмом квадродерева це гарантує найбільш гнучке та раціональне покриття об'єкта блоками. За рахунок такого покриття зображення кількість блоків зменшиться.

Для прискорення порівняння рангу та домену на алгоритм стиснення можна накласти такі обмеження:

- обмежити кількість перетворень, наперед забезпечивши ступінь стиснення не нижче фіксованої величини;
- вимагати, щоб у ситуації, коли різниця між оброблюваним фрагментом і найкращим його наближенням буде вищою за певне порогове значення, цей фрагмент обов'язково дробився на частини;
- заборонити дробити фрагменти розміром менше, наприклад, чотирьох пікселів.

Змінюючи порогові значення та пріоритет цих обмежень, можна дуже гнучко керувати коефіцієнтом компресії зображення: від попиксельної відповідності до будь-якого ступеня стиснення.

Висновки та перспективи подальшого дослідження

Значна складність та повільність процесу стиснення є причиною того, що фрактальні методи найкраще пристосовані для застосунків архівування, таких як цифрові енциклопедії, в яких кодування необхідне лише одного разу, а декодування відбувається багато разів. Тому переважна більшість досліджень у галузі фрактального стиску зараз спрямована на зменшення часу архівації, необхідного для отримання якісного зображення. На даний момент відомо багато алгоритмів оптимізації перебору, що виникає при фрактальному стиску. Для збільшення швидкості кодування проводиться робота за двома напрямками. У рамках першого напрямку розглядаються задачі класифікації доменів (англ. classification of domains), у яких за рахунок зменшення кількості доменів, серед яких ведеться пошук, скорочується кількість обчислень. Другий напрямок ґрунтується на методах виділення особливостей зображення (англ. feature extraction). При цьому підході збільшення швидкості кодування відбувається за рахунок порівняння доменних та рангових блоків.

Список бібліографічного опису

1. Hill F. S. Computer graphics. Macmillan Publ., 1990. 754 p.
2. Адашевська І. Ю., Краєвська О. О. Самоподібність як характеристична властивість фракталу. Фрактальна (дробова) розмірність Хаусдорфа. Scientific Achievements of Modern Society : abstr. of 4th Intern. Sci. and Practical Conf., Liverpool, United Kingdom, 4–6 Dec. 2019. P. 603–612. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/44138> (дата звернення: 14.05.2023).
3. Morris S. A. Topology without tears. Publ. June 28, 2020. 704 p. URL: <https://www.topologywithouttears.net/topbook.pdf> (Last accessed: 14.05.2023).
4. Rosenberg E. Fractal dimensions of networks. Springer, 2020. 524 p.
5. Fisher Yu. Fractal image compression. IEEE SIGGRAPH Course Notes. 1992. 21 p.
6. Foley J. D., van Dam A., Fisher S. K., Hughes J. F. Computer graphics: Principles and practice. Addison-Wesley Publ., 1990. 1006 p.
7. Amar A. B., O'Regan D. Topology and approximate fixed points. Springer, 2022. 247 p.
8. Liu S. T., Zhang Y. P., Liu C. A. Fractal control and its applications. Springer, 2020. 352 p.
9. Agarwal P., Jleli M., Samet B. Fixed point theory in metric spaces. Springer, 2018. 165 p.
10. Subrahmanyam P. V. Elementary fixed point theorems. Springer, 2019. 297 p.
11. Miller G. The definition and rendering of terrain maps. Computer Graphics. 1986. Vol. 20, No. 4. P. 39–48.
12. Свинчук О. В., Барабаш О. В., Олімпієва Ю. І., Лільн О. Ю. Застосування фрактальних функцій для шифрування даних в системах захисту інформації. Телекомунікаційні та інформаційні технології. 2020. № 1 (66). С. 15–24. DOI: 10.31673/2412-4338.2020.011524.
13. Дахно Н. Б., Шевченко Г. В., Свинчук О. В. Фрактальні функції в телекомунікаційних мережах. Проблеми інформатизації : матеріали 13 Міжнар. наук.-техн. конф., 11–12 квітня 2019 р. Київ : Держ. ун-т телекомунікацій, 2019. С. 39–41.
14. Cruz-Cunha M. M., Mateus-Coelho N. R. Handbook of research on cyber crime and information. Hershey, PA : IGI Global, 2020. 739 p.
15. Li M. Fractal teletraffic modeling and delay bounds in computer. CRC Press, 2022. 238 p.

References

1. Hill F. S. Computer graphics. Macmillan Publ., 1990. 754 p.
2. Adashevskaya I. Yu., Kraevskaya O. O. Self-similarity as a characteristic property of a fractal. Hausdorff's fractal (fractional) dimension. Scientific Achievements of Modern Society : abstr. of 4th Intern. Sci. and Practical Conf.,

- Liverpool, United Kingdom, 4–6 Dec. 2019. P. 603–612. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/44138> (Last accessed: 05/14/2023).
3. Morris S. A. Topology without tears. Publ. June 28, 2020. 704 p. URL: <https://www.topologywithouttears.net/topbook.pdf> (Last accessed: 14.05.2023).
 4. Rosenberg E. Fractal dimensions of networks. Springer, 2020. 524 p.
 5. Fisher Yu. Fractal image compression. IEEE SIGGraph Course Notes. 1992. 21 p.
 6. Foley J. D., van Dam A., Feiner S. K., Hughes J. F. Computer graphics: Principles and practice. Addison-Wesley Publ., 1990. 1006 p.
 7. Amar A. B., O'Regan D. Topology and approximate fixed points. Springer, 2022. 247 p.
 8. Liu S. T., Zhang Yo. P., Liu C. A. Fractal control and its applications. Springer, 2020. 352 p.
 9. Agarwal P., Jleli M., Samet B. Fixed point theory in metric spaces. Springer, 2018. 165 p.
 10. Subrahmanyam P.V. Elementary fixed point theorems. Springer, 2019. 297 p.
 11. Miller G. The definition and rendering of terrain maps. Computer Graphics. 1986. Vol. 20, No. 4. P. 39–48.
 12. Svinchuk O.V., Barabash O.V., Olimpiyeva Yu.I., Ilyin O.Yu. Application of fractal functions for data encryption in information protection systems. Telecommunications and information technologies. 2020. No. 1 (66). P. 15–24. DOI: 10.31673/2412-4338.2020.011524.
 13. Dakhno N. B., Shevchenko G. V., Svinchuk O. V. Fractal functions in telecommunication networks. Problems of informatization: materials of the 13th International science and technology conference, April 11–12, 2019. Kyiv: Derz. University of Telecommunications, 2019. P. 39–41.
 14. Cruz-Cunha M. M., Mateus-Coelho N. R. Handbook of research on cyber crime and information. Hershey, PA : IGI Global, 2020. 739 p.
 15. Li M. Fractal teletraffic modeling and delay bounds in computer. CRC Press, 2022. 238 p.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-33>

УДК 37.01+378.02:004.9

Ткачов Віталій Миколайович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-6524-9937>

Д'яков Ян Русланович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-6265-7329>

Бітченко Олександр Миколайович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4561-1046>

Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна

АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ЗМІНИ РОЛЕЙ СТУДЕНТА, ВИКЛАДАЧА ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНОМУ ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ

Ткачов В.М., Д'яков Я.Р., Бітченко О.М. Аналіз динаміки зміни ролей студента, викладача та комп'ютера у сучасному освітньому процесі. Проаналізовано поняття освіти та системи навчання, їхніх завдань перед суспільством. Означено сучасні процеси у суспільстві, що ведуть до розмиття ролей елементів освітнього процесу, знижують його ефективність та актуалізують питання його трансформації. Наведено означення сутності викладач-орієнтованої парадигми організації освітнього процесу, а також перелік його переваг та недоліків. На основі означених даних проведено порівняльний аналіз з більш актуальною студент-орієнтованою парадигмою, її перевагами та відповідальностями сторін. Означено проблему різновидової упередженості викладача та можливостей її подолання за допомогою впровадження студент-орієнтованої парадигми освітнього процесу, інформаційних технологій. Наведено типові можливості інформаційних технологій у складі елементу системи навчання (асистент викладача, асистент студента, агрегатор статистики, аналітична система, агрегатор документації тощо). Показано наявні та потенційні позитивні зрушення від впровадження комп'ютера до навчального процесу як для безпосередніх його членів, так й для якості, впорядкованості знань у цілому. Констатовано необхідність підвищення комп'ютерної грамотності як викладачів, так й студентів. Означено перспективні напрямки подальших досліджень та трансформацій освітнього процесу.

Ключові слова: освіта, система навчання, студент, слухач, викладач, комп'ютер, інтеграція.

Tkachov V., Diakov Y., Bitchenko O. Analysis of role change dynamics of the student, teacher and computer in the modern educational process. The concepts of education and training systems, their tasks before society are analyzed. Modern processes in society that lead to the blurring of the roles of the elements of the educational process, reduce its effectiveness and actualize the issue of its transformation are identified. The definition of the essence of the teacher-oriented paradigm of the organization of the educational process is given, as well as a list of its advantages and disadvantages. On the basis of the given data, a comparative analysis was conducted with a more relevant student-oriented paradigm, its advantages and responsibilities of the parties. The problem of the various biases of the teacher and the possibilities of overcoming it with the help of the introduction of a student-oriented paradigm of the educational process and information technologies are identified. Typical capabilities of information technologies as part of an element of the education system (teaching assistant, student assistant, statistics aggregator, analytical system, documentation aggregator, etc.) are given. The present and potential positive shifts from the introduction of the computer to the educational process both for its immediate members and for the quality and orderliness of knowledge as a whole are shown. The need to improve computer literacy of both teachers and students was identified. Prospective directions for further research and transformations of the educational process are identified.

Keywords: education, training system, education, student, listener, lecturer, computer, integration.

Постановка наукової проблеми. Освіта є не лише процесом засвоєння певних теоретичних знань, практичних умінь та отримання навичок, але й механізмом для формування особистості людини, міри її унікальності серед соціуму. Крім того, забезпечується передача культурних цінностей суспільства, розширення меж світогляду, подолання соціальних бар'єрів тощо.

Наразі у сучасному суспільстві відбуваються соціальні, освітньо-цифрові процеси, що на пряму впливають на динаміку та якість провадження освіти на усіх рівнях акредитації. Зокрема, варто окреслити бурхливий розвиток та впровадження інформаційних технологій у повсякденне життя, наявність численних альтернативних шляхів отримання знань, зміщення акценту навчального процесу із суб'єкта (вчитель, викладач, ментор, інструктор) чи теми розгляду на об'єкт (учень, студент, слухач), розширення множини методів навчання студентів, зокрема самостійно та у групах та ін.

У подібній ситуації перед викладацьким складом освітніх інституцій постають хибні судження стосовно їх можливого заміщення інформаційними технологіями (зокрема інструментами штучного інтелекту), втрати довіри й авторитету серед студентського загалу. Крім того, на тлі більш повного представлення знань у інтернет-мережі (відеокурси, відкриті статті, прямий доступ до інформаційних технологій з дому), залежності слухачів від інформаційних технологій виникають тенденції до загального зниження ефективності освіти, спрямування на домашнє навчання з супутньою втраченою соціалізацією та інкультурацією тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями ролі комп'ютерних засобів навчання та професійної підготовки цікавилися Вінер Н., Валькман Ю., Ляшенко О., Рубцов М. [1]. Шляхи впровадження світового досвіду щодо використання інформаційних технологій в українській освіті розглянув Грицюк О. [2]. Ролі об'єктів та суб'єктів освітнього процесу досліджувалися Кувачовим В., Чорною Т., Митковим В. [3]. Питання інформаційної грамотності та цифрових компетенцій викладачів та студентів розглядаються у працях Бикова В., Жука Ю., Чернякової Ж. [4]. Дослідження типових інструментів реалізації безбар'єрних інформаційних середовищ висвітлено в працях Зубченко С., Гулівати І., Ніколіної І. тощо [5].

Метою статті є дослідження поточної динаміки змінюваності ролей студента (слухача), викладача та комп'ютерних технологій у сучасному освітньому процесі задля викорінення типових хибних суджень, окреслення сучасних тенденцій до кооперації усіх учасників вищеозначеного процесу та її подальших перспектив.

Виклад основного матеріалу дослідження. З-поміж усієї теорії освіти доцільно першочергово звернути увагу на систему навчання, як на основний механізм забезпечення освітнього процесу.

Узагальнено, система навчання є елементом таких метасистем, що орієнтовані на отримання, зберігання, передачу й використання інформації, суттєвої для актуальних та ймовірних аспектів людської життєдіяльності. Система навчання вирізняється серед інших структурою: слухач (або слухачі), викладач та навчальний план. Крім того, ставиться більш вузько спеціалізоване завдання: трансформувати ненавчених членів суспільства у такі, що здатні вирішувати проблеми, пов'язані як з їхнім виживанням, так й з виживанням суспільства в цілому [6].

У процесі вивчення шаблонів взаємодії між слухачами та викладачами у системі навчання постає елемент орієнтації освітнього процесу або, узагальнено, парадигми організації такого процесу. Традиційної та досі популярною є викладач-орієнтована парадигма з наступними характеристиками:

- фокус уваги зосереджується на викладачеві;
- викладач одноосібно обирає необхідні теми для розгляду;
- знання викладача з теми є пріоритетними з-поміж усіх інших;
- викладач повністю відповідальний за аналіз продуктивності слухачів та корекцію їхніх помилок, надання відповідей на їхні запитання тощо.

З іншого боку, втрачаються можливості до взаємодії слухачів між собою задля отримання нових знань та досвіду, відповідно, отримання навичок взаємодії, ефективного спілкування; навіть у випадку застарілого освітнього плану та освітніх методик викладача, слухач має слідувати освітньому плану; навчання погіршується, якщо викладач не має змоги підтримувати інтерес до теми розгляду тощо [7].

Проте наразі парадигма організації освітнього процесу зміщується до студент-орієнтованої (т. з. гуманістична теорія навчання). Порівняно з іншими варіаціями (викладач-орієнтований, тема-орієнтований тощо), така система навчання надає максимальну гнучкість для студентів. Таким чином доступне визначення не лише предмету розгляду, а й шляху розгляду, необхідності розгляду чи відсутності такої. Це створює суттєвий контраст з попереднім конвенційно-дидактичним спрямуванням на контроль зверху, принцип покриття академічного плану тощо. Крім того, якість засвоєння інформації зростає ще й через бажання самого студента опрацювати ту чи іншу тему задля задоволення власних інтересів та потреб.

У студент-орієнтованій парадигмі від студента потребується індивідуалізація, взаємодія та інтеграція. Індивідуалізація передбачає розробку власного шляху пізнання матеріалу; взаємодія — командну роботу над засвоєнням матеріалу, навчання одне одного; інтеграція — використання здобутих знань для самостійного конструювання нових [7].

Окрім означеного, за слухачем залишається закріпленими низка задач та можливостей з попередніх парадигм, а саме:

- формування навичок рефлексії щодо знань та шляхів їхнього отримання, побудови цілісних систем, їхньої неповноти та необхідності систематичного поповнення;
- розвитку внутрішньої системи самоосвіти для підтримки актуальності знань впродовж подальшого життя;
- формування компетенцій, що допомагають мотивувати до самостійної дослідницької діяльності: задавати коректні питання, формулювати гіпотези, шукати відповіді та активно обговорювати їх, аналізувати отримані результати;

— організація та участь у культурно-масових заходах задля поглиблення комунікаційних навичок, розвитку лідерських якостей, активної самореалізації у численних напрямках тощо.

Викладач у студент-орієнтованій парадигмі трансформується у інструктора з наступними задачами:

- виявляти та адаптувати різноманітні навчальні методики;
- окреслювати структуру надаваної інформації без надмірних вказівок;
- вислуховувати та поважати точку зору кожного слухача;
- взаємодіяти з іншими інструкторами задля підвищення якості освіти;
- сприяти спільному прийняттю рішень студентами;
- допомагати слухачам справлятися зі складнощами впродовж освітнього процесу шляхом використання відкритих питань для того, щоб допомогти отримати задовільні для слухачів висновки або рішення.

Процес навчання у такому випадку є пошуком сенсу студентом, конструюванням знання, а не його пасивним отриманням [8].

Окрім вищезначеного, частково вирішується проблема наукової упередженості викладача. Так, зменшення ролі викладача у набутті знань слухачами та пошвавлення їхнього власного пошуку зменшує ризики впровадження викладачем малодостовірних знань, суб'єктивних оцінок, суджень, що потенційно може знизити якість освіти. Також приймаються кроки до мінімізації освітньої упередженості викладача, де через відмінності слухачів за віком, расою, статтю, орієнтацією, соціоекономічним статусом ставиться під сумнів ефективність їхнього засвоєння знань [9].

Зміщення до студент-орієнтованої парадигми організації освітнього процесу, боротьба з різновидами упередженості викладача (викладач перестає бути єдиним постачальником знань) також актуальні з огляду на інтенсифікацію розвитку та впровадження інформаційних технологій. Студенти швидше адаптуються до аспектів такого розвитку й, власне, адаптують наявні інформаційні технології для вирішення поставлених завдань. У якості прикладу, окрім вже відомих прецедентів [10], у інтернет-мережі вже наявні численні посилання щодо спрощення написання наукових тез, статей та дисертацій за допомогою інтелектуального боту ChatGPT [11][12].

Впровадження комп'ютера до класичної системи навчання пов'язане насамперед з потребою формалізації функцій, що можуть бути найкраще реалізовані викладачем, комп'ютером або їхнім об'єднанням (т. з. людино-комп'ютерною системою). Вона ж впливає на складнощі в окресленні місця комп'ютера у схемі навчального процесу, сприйняття невірної твердження щодо заміни викладача комп'ютером із супутніми наслідками та ін.. У таких випадках доцільно проводити напрямлену діяльність щодо з'ясування переваг та недоліків комп'ютерних систем у освіті, їхній мірі взаємодії з учасниками навчального процесу тощо.

Першочергово комп'ютер може посідати проміжне місце між викладачем та слухачем. У такому випадку викладач визначає міру відповідальності як себе, так й комп'ютера у виконанні поставлених задач навчання. У відповідності до власної стратегії та результатів діяльності студентів та комп'ютера, викладач розподіляє контроль за навчальним процесом між собою та комп'ютером; локалізує його у собі або комп'ютері. Крім того, важливою є можливість організації прямого зв'язку між слухачем та викладачем без залучення комп'ютера. Це є доцільним з огляду на можливі проблеми з електроживленням, доступом до інтернет-мережі, програмним та апаратним забезпеченням комп'ютера.

Як наслідок, викладач має змогу проаналізувати результати діяльності слухачів за допомогою пов'язаного з ним комп'ютера для того, щоб віднайти та скорегувати причини незадовільного або неоптимального навчального процесу [6]. Також логічність, детермінованість комп'ютера полегшує тестування та оптимізацію вкладених алгоритмів підтримки навчального процесу.

У практичній площині комп'ютер із вкладеним програмним забезпеченням досить ефективно показує себе у ролі асистента як для викладача, так й для студента. Так, для обох сторін відкриваються численні текстові редактори (побудова супровідної документації без помилок з автоматичним перенесенням; фіксація отриманих знань у електронному форматі), графічні інструменти (індивідуальне та групове малювання, креслення, конструювання блок-схем тощо), інструменти презентації, бази даних, онлайн-ресурси, таблиці з розширеними математичними потужностями, засоби онлайн-та офлайн-комунікації та ін. [13]. Вищезначене суттєво підвищує якість освіти, поглиблює та розширює знання слухачів з численних предметних областей, формує навички спілкування, взаємодії студентів, покращує комп'ютерну грамотність усіх учасників освітнього процесу тощо.

Подальша інтеграція комп'ютера до означеної системи навчання призводить до можливості збору статистичної інформації стосовно успішності та активності слухачів, темпів підготовки та здачі робіт, тривалості лекцій та багато ін. Крім того, завдяки особливостям комп'ютерних систем можливо забезпечити ефективність та анонімність як для студентів, так й для викладачів у випадку опитувань та анкетувань. Збір подібної інформації дозволяє оцінити якість навчального матеріалу й процесу навчання, окреслити прогалини та перспективні напрямки розвитку навчальних програм тощо.

Завдяки цифровізації освітнього процесу також зазнають змін підходи до створення, редагування, зберігання та відтворення навчального плану. Так, завдяки зберіганню супровідної документації на електронних носіях та у хмарі суттєво знижується ризик втрати цінної інформації. Використання текстових редакторів суттєво полегшує розробку усіх елементів навчального плану. Інструменти на основі штучного інтелекту дозволяють перефразувати необхідні твердження, замінити застарілі матеріали та техніки сучасними тощо. Крім того, вищезначене спрощує роботу викладача, зокрема дозволяючи йому реалізувати свою творчу ініціативу з розробки авторських програм, підходів до комунікації із слухачами; витратити більше часу на підготовку пропозицій щодо оновлень основних планів освітніх дисциплін.

Варто відзначити можливості викладача до запису його презентацій лекційного матеріалу, завдань до практичних робіт та підготовчих матеріалів до них у вигляді відеоматеріалів. Таким чином досягаються наступні переваги:

- мінімізація зупинки на матеріалах, що з тих чи інших причин вже відомі студентам;
- пришивджене повторювання необхідного матеріалу, в тому числі для продуктивної здачі заліків або екзаменів;
- акцентуація викладача на індивідуальну роботу зі слухачами або на роботу з малими групами; інші студенти мають змогу навчатись за відеоматеріалах у групах або наодинці;
- навчання як у освітніх закладах, так й у домашніх умовах;
- можливості для батьків до перегляду навчальних матеріалів та підтримки процесу навчання своїх дітей у домашніх умовах та ін. [14];

Іншим закономірним прикладним результатом впровадження інформаційних технологій також є збільшення частки дистанційної освіти в основному процесі навчання студентів, підвищення кваліфікації викладачів та слухачів в цілому. Таким чином реалізуються державні та приватні підходи до організації безбар'єрного освітнього середовища [5], розширення частки новітніх компетенцій, впровадження та підтримка телекомунікаційних технологій обміну аудіо- та відеоінформацією тощо. З іншого боку, через віддаленість від реальної кооперації із іншими слухачами та викладачем актуалізується питання соціалізації та інкультурації слухачів, що потребує додаткових досліджень.

Не менш важливим наслідком впровадження інформаційних технологій є підвищення вимог до комп'ютерної грамотності викладачів та слухачів задля ефективної роботи з комп'ютером у навчальному процесі. Так, означена вимога збільшуватиметься з динамікою розвитку комп'ютерних технологій, що можуть мати відношення до освітнього процесу, а саме:

- методи фізичного відтворення об'єктів за цифровою 3D-моделлю;
- методи конструювання та візуалізації віртуальної та доповненої реальності задля цілей презентації, симуляції, моделювання;
- впровадження спеціалізованих комп'ютерних ігор;
- організації "розумних класних кімнат";
- розвитку штучного інтелекту, здатного до спілкування;
- впровадження неперервної (онлайн) освіти та багато ін.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Класична система навчання зазнає змін через низку процесів у сучасному суспільстві. У центрі визначення доцільності та способів отримання знань стає слухач; викладач ж оперує процесом у якості асистента-інструктора. Впровадження комп'ютерних технологій за умови вірного розподілу відповідальностей та попереднього викорінення хибних суджень поглиблює процес здобуття знань, спрощуючи його для усіх учасників освітнього процесу та підвищуючи їхню комп'ютерну грамотність.

Також доцільно виокремити перспективні напрямки досліджень, що також є напрямками трансформації освітнього процесу:

- подальше підвищення ролі інформаційних технологій;

- конструювання нових шляхів до сприйняття знань слухачами залежно від кількості (самостійно, у групах); міри близькості (попередньо знайомі або незнайомі одне з одним); характеру взаємодії (дискусія, монологічні виступи, взаємне анкетування тощо), місця знаходження (у класі, на відкритих майданчиках, вдома) тощо;
- модернізація (автоматизація) методів оцінювання освітнього процесу;
- впровадження та оптимізація дистанційної освіти із супутнім вирішенням проблеми ефективного соціалізації та інкультурації слухачів;
- пришвидшення оновлення навчального плану, програм основних дисциплін;
- зниження усіх проявів упередженості освіти та багато ін.

Список бібліографічного опису

1. Рубцов, М. Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів навчання для підвищення якості знань при викладанні математичних дисциплін в університеті. *Український журнал освітніх наук та інформаційних технологій*, т. 5, № 1, 2017. с. 261-266. URL: <https://doi.org/10.32919/10.32919/uesit.2017.01.261-266>.
2. Грицюк, О. Інформаційні технології в українській освіті: шляхи впровадження світового досвіду. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, №2 (109), ч. 2, 2018. с. 15-20. URL: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.2.p2.15-20>.
3. Кувачов В., Чорна Т., Митков В. Роль викладача щодо мотивації студентів до навчання. *Сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції*: матеріали Міжнародного науково-практичного форуму, м. Мелітополь, 21-22 чер. 2019 р.. Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Дмитра Моторного. Мелітополь, 2019. Ч. 2, с. 357-359. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/8544> (дата звернення: 21.09.2023).
4. Чернякова, Ж. Змістова характеристика інформаційно-цифрової компетентності майбутнього вчителя нової української школи. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, № 10 (114), 2021. с. 112-123. URL: <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2021.10>.
5. Гулівата, І. О., Ніколіна, І. І. Цифрові інструменти у реалізації безбар'єрного освітнього середовища. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, № 51, 2023. с. 37-42. URL: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-05>.
6. Crowell, F., Traegde, C. The role of computers in instructional systems: past and future. *ACM '67: Proceedings of the 1967 22nd national conference*, 1967. p. 417-425. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/800196.806010> (resource access date: 25.08.23).
7. Lathan, J. Complete Guide to Student-Centered vs. Teacher-Centered Learning. p. 11. URL: <https://onlinedegrees.sandiego.edu/teacher-centered-vs-student-centered-learning> (resource access date: 07.09.23).
8. TEAL Center Fact Sheet No. 6: Student-Centered Learning. 2010. p. 3. URL: https://lincs.ed.gov/sites/default/files/6%20_TEAL_Student-Centered.pdf (resource access date: 26.08.23).
9. Smith, T., Pham, J. Understanding Teacher Bias. Acknowledging the Impact of Unconscious Bias. 2023. p. 7. URL: <https://www.learning-a-z.com/site/resources/breakroom-blog/understanding-teacher-bias> (resource access date: 08.09.23).
10. Bromley, J. I used ChatGPT to research my dissertation — here's why it's fine. 2023. p. 3. URL: <https://www.standard.co.uk/insider/chatgpt-dissertation-essay-education-gen-z-b1055820.html> (resource access date: 07.09.23).
11. Master Your Doctorate Thesis Structure with AI: How ChatGPT Can Help. 2023. p. 7. URL: <https://oa.mg/blog/master-your-doctorate-thesis-structure-with-ai-how-chatgpt-can-help> (resource access date: 07.09.23).
12. ChatGPT Prompts For Thesis. p. 9. URL: <https://clickup.com/templates/ai-prompts/thesis> (resource access date: 07.09.23).
13. Yumei, L. Three roles what computer act in teaching and learning. *I. J. Education And Management Engineering*, 2012, 11. p. 52-55. URL: <https://www.mecspress.org/ijeme/ijeme-v2-n11/IJEME-V2-N11-10.pdf> (resource access date: 28.08.23).
14. Teacher & Student Roles in a Modern Classroom. 2023. p. 4. URL: <https://intercom.help/modern-classrooms/en/articles/5261550-teacher-student-roles-in-a-modern-classroom> (resource access date: 02.09.23).

References

1. Rubtsov, M. (2017). Use of computer-based learning tools to improve the quality of knowledge in teaching mathematical disciplines at the university. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*, 5(1), 261–266. <https://doi.org/10.32919/10.32919/uesit.2017.01.261-266>.
2. Grytsiuk, O. (2018). Information technologies in ukrainian education: ways of the world experience implementation. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, (109), p. 2, 15-20. <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.2.p2.15-20>.
3. Kuvachov, V., Chorna, T., Mitkov, V. (2019). The teacher's role in student motivation to teaching. *Modern scientific research on the way to European integration: materials of the International Scientific and Practical Forum*, p. 2, 357-359. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/8544>.
4. Chernyakova, Z. (2021). Content characteristics of information and digital competence of the future teacher of the new Ukrainian school. *Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies*, (114), 112-123. <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2021.10>.
5. Hulivata, I. O., & Nikolina, I. I. (2023). Digital tools for the introduction to a barrier-free educational environment. *Computer-integrated technologies: education, science, production*, (51), 37-42. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-05>.

6. Crowell, F., Traegde, C. (1967) The role of computers in instructional systems: past and future. ACM '67: Proceedings of the 1967 22nd national conference, p. 417-425. URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/800196.806010>.
7. Lathan, J. (2019). Complete Guide to Student-Centered vs. Teacher-Centered Learning, pp. 11. Retrieved from <https://onlinedegrees.sandiego.edu/teacher-centered-vs-student-centered-learning/>
8. TEAL (2010). TEAL Center Fact Sheet No. 6: Student-Centered Learning. pp. 3. Retrieved from https://lincs.ed.gov/sites/default/files/6%20_TEAL_Student-Centered.pdf.
9. Smith, T., Pham, J. (2023). Understanding Teacher Bias. Acknowledging the Impact of Unconscious Bias, pp. 7. Retrieved from <https://www.learninga-z.com/site/resources/breakroom-blog/understanding-teacher-bias/>
10. Bromley, J. (2023). I used ChatGPT to research my dissertation — here's why it's fine, pp. 3. Retrieved from <https://www.standard.co.uk/insider/chatgpt-dissertation-essay-education-gen-z-b1055820.html>.
11. OA.mg (2023). Master Your Doctorate Thesis Structure with AI: How ChatGPT Can Help, pp. 7. Retrieved from <https://oa.mg/blog/master-your-doctorate-thesis-structure-with-ai-how-chatgpt-can-help/>
12. ClickUp (2023). ChatGPT Prompts For Thesis, pp. 9. Retrieved from <https://clickup.com/templates/ai-prompts/thesis/>
13. Yumei, L. (2012). Three roles what computer act in teaching and learning. *I. J. Education And Management Engineering*, (11), 52-55. Retrieved from <https://www.mecspress.org/ijeme/ijeme-v2-n11/IJEME-V2-N11-10.pdf>.
14. Intercom (2023). Teacher & Student Roles in a Modern Classroom, pp. 4. Retrieved from <https://intercom.help/modern-classrooms/en/articles/5261550-teacher-student-roles-in-a-modern-classroom/>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-34>

УДК 004.77

Христинець Наталія Анатоліївна, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-4836-7632>**Мельник Катерина Вікторівна**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0002-9991-582X>**Фенюк Арсен Сергійович**, магістрант**Копчук Валерій Юрійович**, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

АНАЛІТИКА ВЕБ-РЕСУРСІВ ЯК СПОСОБИ РЕЙТИНГУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Христинець Н.А., Мельник К.В., Фенюк А.С., Копчук В.Ю. Аналітика веб-ресурсів як способи рейтингування інформаційних систем. В роботі проведено аналіз досліджень і наукових публікацій у сфері аналітики. Класифіковано та досліджено різні методи аналітики веб-сайтів, визначено доцільність використання кожного аналітичного класу, на прикладі розробленого сайту продемонстровано реальні механізми роботи популярного сервера веб-ресурсів GA4.

Ключові слова: аналітика сайтів, GA4, web, конверсії, події аналітики, користувачі сайту

Khrystynets N., Melnyk K., Fenyuk A., Kopchuk V. Analytics of web resources as ways of rating information systems. The work includes an analysis of research and scientific publications in the field of analytics. Different methods of website analytics are classified and researched, the expediency of using each analytical class is determined, and the real working mechanisms of the popular GA4 web resource server are demonstrated on the example of a developed website.

Keywords: site analytics, GA4, web, conversions, analytics events, site users

Постановка наукової проблеми. Інтернет приніс новий тип демократії, де вся інформація розподілена рівноправно. Переставши бути винятковим засобом функціонування експертів і традиційних медіа, вона стала масовою, вірусною і глобальною. Величезний обсяг і блискавична швидкість передачі інформації змінили те, як світ спілкується, навчає, навчається та, зрештою, вирішує проблеми. Оскільки Інтернет і пов'язані з ним технології розвиваються, користувачам потрібна допомога в управлінні цими новими інструментами. Веб-ресурси є однією з основних складових мережі Інтернет і відіграють ключову роль у забезпеченні доступу користувачів до різноманітної інформації та послуг в онлайн-середовищі. Вони становлять основний інструмент для спілкування, обміну інформацією, проведення бізнесу та багато інших аспектів взаємодії в Інтернеті. Аналітика веб-ресурсів продовжує розвиватися і адаптуватися до змін в Інтернет-середовищі, що робить її постійною науковою проблемою.

Аналіз досліджень. Аналіз веб-ресурсів, як напрямок ІТ-сфери, активно та постійно розвивається, вивчається та вдосконалюється. Дослідження веб-аналітики охоплює різні аспекти, включаючи технічні інновації, психологію користувачів, вплив соціальних мереж, розвиток штучного інтелекту та інші. Багато українських та закордонних учених висвітлюють питання дослідження електронної комерції [1], соціальних мереж [2], онлайн-освіти, форумів та інших складових онлайн-середовища. Аналіз цих досліджень показав, що конфіденційність і точність даних є двома основними проблемами веб-аналітики. В більшості випадків, ці дві проблеми пов'язані.

В працях [3-4] зазначено, що налаштування конфіденційності впливають на відстеження даних і точність збору. З урахуванням того, що сьогодні усі потужні компанії та бізнес практично завжди мають веб-представництва, занепокоєння про особисту конфіденційність зростає, оскільки веб-аналітика стала загальноприйнятою. В роботі [5] проведено аналіз веб-додатків і виявлено, що використання файлів cookie є основною проблемою щодо точності та конфіденційності. Наприклад, у публікації [6] розглянуто відстеження веб-маяків. Для відстеження використовуються файли cookie і поведінка клієнтів на різних веб-сайтах. Веб-маяк – це фрагмент коду відстеження третьої сторони, чере вбудовані коди у веб-сторінку. Аналізатор збирає дані, читає файли cookie та відстежує поведінку користувачів через домени і веб-сайти і щойно перший веб-маяк відображається в системі, унікальний номер генерується та зберігається у файлі cookie в системі користувача. Коли користувач відвідує інший веб-сайт із веб-маяком від того самого постачальника, постачальник зчитує файли cookie та збирає дані користувача та може налаштувати, яку рекламу відображати для цього користувача. Тобто, з огляду наукових джерел зрозуміло, що однією з

основних проблем веб-аналітики є захист ресурсів, якими користувачі можуть маніпулювати клієнтською програмою через налаштування для захисту конфіденційності.

Щодо засобів для аналітики веб-ресурсів. Колекція і аналіз даних на рівні програм зазвичай іменується назвами програм, наприклад аналітика навчання, відеоаналітика, пошукова аналітика, аналітика соціальних медіа тощо. Наприклад, Google надає пошук і рекламну аналітику, YouTube надає аналітику відео, LinkedIn і Facebook забезпечують соціальну аналітику і т.д. Більшість цих аналітичних засобів для конкретних програм поєднують веб-сайт і відображення даних використання. Ця тенденція зберігається із впровадженням і більш специфічних програм аналітики, таких як Netspeak Spider та інших аналізаторів.

Мета роботи. Метою дослідження є вдосконалення аналітичного підходу до оптимізації веб-ресурсів через сервіси аналітики, збору даних та маркетингових програмних інструментів.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

В роботі використано сучасний інструментарій аналітики – Google Analytics 4 (GA4). Це оновлена версія відомого інструменту для веб-аналітики від Google. GA4 пропонує новий підхід до вимірювання та аналізу даних на веб-сайтах та додатках. Дослідження проводили для створеного у червні 2023 року сайту надання туристичних реабілітаційних послуг turturia.site. Для сайту, якому всього кілька місяців, актуальність проведених досліджень може бути обмеженою через досить короткий період його існування. Однак, навіть за цього короткого періоду аналітичні дані та наступна оптимізація мають значущі результати.

Аналітика події в GA4 відображається кількістю подій за визначений період та кількістю користувачів відносно тригерів сайту. Наприклад, для розробленого сайту turturia.site аналітика подій представлена на рисунку 1.

Назва події	+	↓ Кількість подій	Усього користувачів
		124	20
		100% від загального підсумка	100% від загального підсумка
1	page_view	40	20
2	session_start	28	20
3	first_visit	20	20
4	scroll	17	11
5	click	12	5
6	user_engagement	7	5

Рис.1. Аналітика подій сайту turturia.site

З рисунка видно, що обидві метрики є важливими для аналізу ефективності веб-сайту та розуміння того, як користувачі взаємодіють із контентом та функціоналом. Кількість користувачів сайту може допомогти зрозуміти розмаїтість аудиторії та зростання або зменшення трафіку. Кількість подій дозволяє відстежувати дії користувачів з контентом та функціоналом та оцінювати ефективність того, як певні елементи сайту призводять до визначених цілей, наприклад, конверсії або ефективності рекламної кампанії.

Аналітика базової ефективності користувачів за днем тижня та за параметром веб-переглядача (рисунк 2) відноситься до поведінкової аналітики та сегментаційного аналізу.

Аналіз взаємодії користувачів із веб-сайтом включає в себе вивчення їхньої активності, дій та поведінки. У даному випадку, вивчення того, як користувачі взаємодіють із сайтом в різні дні тижня та в залежності від параметрів веб-переглядача, є складовою поведінкової аналітики. Це корисно для удосконалення стратегій маркетингу. Сегментація дозволяє розділити аудиторію на групи за певними критеріями. У нашому випадку, аналіз за параметром веб-переглядача включає в себе сегментацію користувачів за конкретними характеристиками їхніх веб-переглядачів (Chrome,

Firefox, Safari і ін. браузери). Такий підхід дозволяє розуміти, як різні групи користувачів взаємодіють з сайтом та які чинники можуть впливати на їхню поведінку. Це корисно для адаптації контенту та для забезпечення оптимального досвіду користувачів.

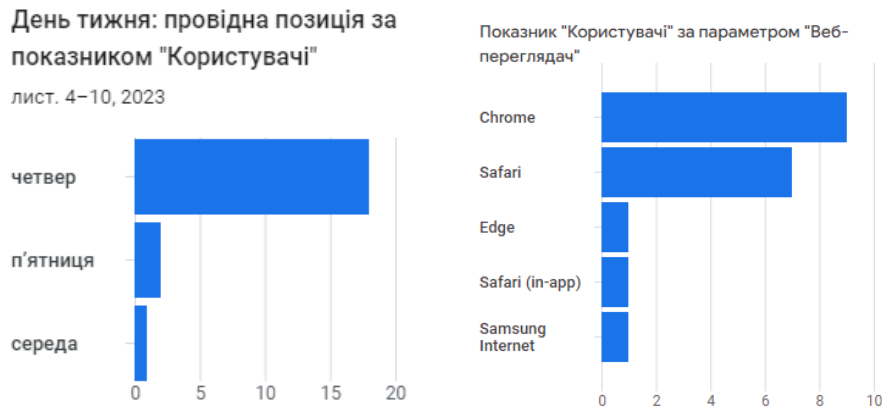


Рис.2. Поведінкова аналітика та сегментаційний аналіз сайту

Географічний аналіз користувачів за параметром країна відноситься до демографічної аналітики яка спрямована на визначення характеристик аудиторії на основі демографічних даних, таких як вік, стать, освіта, дохід та географічне розташування. У даному випадку (рисунок 3), географічне розташування (країна) є ключовим демографічним показником. Таке розділення аудиторії на групи або сегменти, в залежності від їхнього географічного розташування, дозволяє розуміти, з яких регіонів або країн приходить аудиторія. Цей аналіз важливий для адаптації рекламних кампаній та контенту до конкретних географічних ринків, персоналізації і локалізації контенту відповідно до культурних або мовних особливостей різних країн, до регіональних особливостей та попиту.

Географічний аналіз дозволяє компаніям краще розуміти свою аудиторію та адаптувати свої стратегії відповідно до умов та вимог різних регіонів чи країн. Наприклад, високий відсоток відвідуваності з США спонукатиме розвиток не лише двомовного сайту, а й план проведення методів клієнтського обслуговування, таких як доступність телефонної підтримки за американським часом, або навіть розгляд можливості створення місцевого представництва.



Рис. 3. Географія відвідувачів сайту

Аналітика щодо операційної системи та пристрою/платформи, яку використовують користувачі, відноситься до технічної аналітики та аналітики характеристик користувачів, яка включає в себе вивчення технічних аспектів взаємодії користувачів із веб-сайтом, таких як операційна система та використовуваний веб-переглядач. Це може включати аналіз сумісності, деталей технічних помилок та інші технічні питання. Аналітика характеристик користувачів

освітлює аспекти користувачів, пов'язані з їхніми характеристиками та параметрами використання технічних засобів (рисунок 4). У цьому випадку, операційна система та пристрій/платформа є ключовими параметрами.

Цей вид аналітики надає інформацію про те, які технічні умови використовуються відвідувачами сайту. Відомості про операційну систему, тип пристрою та платформу можна використовувати для оптимізації сайту, розробки додатків, сегментації аудиторії. Це включає виправлення технічних помилок та забезпечення сумісності з різними операційними системами та пристроями, розуміння популярності та ефективності додатку на різних платформах, розділення користувачів за характеристиками їхніх пристроїв для більш точного таргетингу та адаптації контенту.

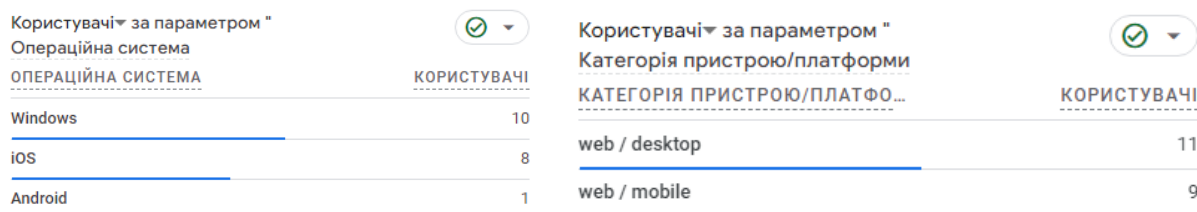


Рис. 4. Технічна аналітика сайту

Роздільна здатність екрану та категорія пристрою (рисунок 5) відносяться до аналітики пристроїв. Роздільна здатність екрану є частиною характеристик користувачів, оскільки вказує на технічні можливості пристрою та його здатність відображати контент. Наприклад, аналіз того, скільки користувачів мають пристрої з високою роздільною здатністю, може вплинути на дизайн та вміст веб-сайту. Категорія пристрою (смартфон, планшет, ноутбук) також є частиною аналітики пристроїв. Ця інформація дозволяє розуміти, на яких типах пристроїв користувачі переглядають веб-сайт, і може впливати на те, як може бути пристосовано контент та функціонал під різні пристрої. Цей вид аналітики може бути корисним для адаптації веб-сайту, оптимізації веб-сайту для різних роздільних здатностей екрану та категорій пристроїв, розробки мобільних додатків, таргетингу та реклами.

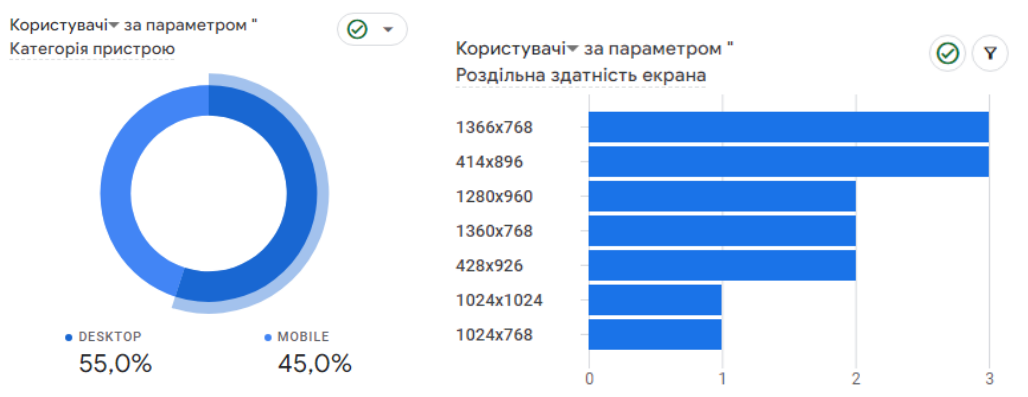


Рис. 5. Аналітика пристроїв

Середній час взаємодії або середній час перебування користувачів на веб-сайті відноситься до конверсійної аналітики. Цей вид аналітики включає в себе вивчення того, як користувачі взаємодіють із веб-сайтом і яку частину часу вони проводять на сторінках, які конкретні елементи або сторінки їх цікавлять, і як вони переміщаються по сайту (рисунок 6). Аналіз середнього часу взаємодії може надати важливі відомості щодо ефективності контенту, як добре користувачі адаптуються до інтерфейсу веб-сайту та які елементи є найбільш цікавими для аудиторії. Ця інформація може бути корисною як для оптимізації веб-сайту, аналізу рекламних кампаній, сегментації аудиторії та визначення взаємодії різних сегментів аудиторії із веб-сайтом.



Рис. 6. Конверсійна аналітика сайту

Загалом, конверсійна аналітика допомагає компаніям розуміти, як поліпшити взаємодію з користувачами та оптимізувати їхній шлях до досягнення цілей, що важливо для бізнесу.

Висновки. Усі зазначені метрики аналітики сприяють розумінню поведінки користувачів, вдосконаленню результатів маркетингу та сегментації аудиторії. Аналітика дозволяє вивчати точки взаємодії із веб-сайтом, вимірювати ефективність цільових дій, таких як покупки, реєстрація чи інші важливі конверсії. Можна відстежувати та аналізувати, як можна покращити дизайн та функціонал веб-сайту, виявляти слабкі місця, оптимізувати сторінки та покращувати користувацький досвід.

Список бібліографічного опису

1. Азамат А., Огінок С. Порівняльний аналіз ефективності маркетингових стратегій основних представників інтернет-торгівлі в Україні. Управління інноваційним процесом в Україні: розвиток співпраці : Тези доп. VIII Міжнар. науково-практ. конф., м. Львів, 18–21 черв. 2020 р. Львів, 2020. С. 25–28. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2020/jun/21803/mipu-2020.pdf> (дата звернення: 07.11.2023)
2. Kotler P., Keller K., Chernev A. Marketing Management. 16th ed. Rental edition, 2021. 607 p. URL: <http://surl.li/mutno> (date of access: 10.11.2023)
3. Yousfi K., Adelakun O. A Qualitative Approach to Google Analytics to Boost E-Commerce Sales. Book «International Conference on Managing Business Through Web Analytics». 2022. P.73-9110. URL: https://www.researchgate.net/publication/365987352_A_Qualitative_Approach_to_Google_Analytics_to_Boost_E-Commerce_Sales (дата звернення: 09.11.2023)
4. Коломоєць С. Створення ефективної маркетингової стратегії: детальний посібник. LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/створення-ефективної-маркетингової-стратегії-посібник-стас-коломоєць> (дата звернення: 14.11.2023)
5. A Comprehensive Guide to Monitor Uptime and Downtime in WordPress. Grace Themes. URL: <https://gracethemes.com/comprehensive-guide-monitor-uptime-downtime-wordpress/> (date of access: 15.11.2023)
6. Астістова Т. Seo-оптимізація в системі моніторингу web-ресурсів. Інформаційні технології, електроніка, механічна та електрична інженерія Information technologies, electronics, mechanical and electrical engineering. 2023. № 1. С. 9–17. URL: <https://vistnuk.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/2/2023/05/1-1-2023.pdf> (дата звернення: 26.11.2023).

References

1. Azamat A., Ohinok S.. Comparative analysis of the effectiveness of marketing strategies of the main representatives of Internet trade in Ukraine. Management of the innovation process in Ukraine: the development of cooperation: Abstracts of add. VIII International scientific and practical conference, Lviv, June 18–21. 2020. Lviv, 2020. P. 25–28. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2020/jun/21803/mipu-2020.pdf> (date of access: 07.11.2023)
2. Kotler P., Keller K., Chernev A. Marketing Management. 16th ed. Rental edition, 2021. 607 p. URL: <http://surl.li/mutno> (date of access: 10.11.2023)
3. Yousfi K., Adelakun O. A Qualitative Approach to Google Analytics to Boost E-Commerce Sales. Book «International Conference on Managing Business Through Web Analytics». 2022. P.73-9110. URL: https://www.researchgate.net/publication/365987352_A_Qualitative_Approach_to_Google_Analytics_to_Boost_E-Commerce_Sales (date of access: 09.11.2023)
4. Kolomoets S. Creating an effective marketing strategy: a detailed guide. LinkedIn. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/створення-ефективної-маркетингової-стратегії-посібник-стас-коломоєць> (date of access: 14.11.2023)
5. A Comprehensive Guide to Monitor Uptime and Downtime in WordPress. Grace Themes. URL: <https://gracethemes.com/comprehensive-guide-monitor-uptime-downtime-wordpress/> (date of access: 15.11.2023)
6. Astistova T. Seo-optimization in the monitoring system of web resources. Information technologies, electronics, mechanical and electrical engineering. 2023. № 1. P. 9–17. URL: <https://vistnuk.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/2/2023/05/1-1-2023.pdf> (date of access: 26.11.2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-35>

УДК 004.89

Черняшук Наталія Леонідівна, д.пед.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

Бортник Катерина Яківна, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

Франчук Дмитро Володимирович, магістрант

Осовська Ірина Петрівна, магістрант

Метелюк Сергій Володимирович, магістрант

Козелко Олександр Юрійович, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЛЮДИННО-МАШИННОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Черняшук Н.Л., Бортник К.Я., Франчук Д.В., Осовська І.П., Метелюк С.В., Козелко О.Ю. **Методи оцінювання якості людино-машинної взаємодії.** Визначено процес, атрибути і принципи оцінювання людино-машинної взаємодії, формалізовано та обґрунтовано застосовування моделей якості для проведення оцінювання якості людино-машинної взаємодії, розроблено метод оцінювання якості людино-машинної взаємодії. Побудовано модель оцінювання якості людино-машинної взаємодії на основі принципів моделі 3С (Conception, Construction, Context) з врахуванням характеристик і структури моделі якості у використанні, моделі практичності та моделі зручності використання. Розроблено метод оцінювання якості людино-машинної взаємодії на основі експертних технологій, зокрема методу безпосередньої оцінки, що дає змогу оцінювати якість людино-машинної взаємодії з врахуванням структури моделі 3С та формувати на основі прототипу інтерфейсу шаблони для подальшого використання у визначеній предметній області.

Ключові слова: людино-машинна взаємодія, користувач, комп'ютерна система, якість, оцінювання.

Chernyashchuk N., Bortnyk K., Franchuk D., Osovska I., Metelyuk S., Kozelko O. **Methods of evaluating the quality of human-machine interaction.** The process, attributes and principles of evaluating human-machine interaction are defined, the application of quality models for evaluating the quality of human-machine interaction is formalized and substantiated, and a method for evaluating the quality of human-machine interaction is developed. A model for evaluating the quality of human-machine interaction was built based on the principles of the 3C (Conception, Construction, Context) model, taking into account the characteristics and structure of the model of quality in use, the model of practicality and the model of ease of use. A method of evaluating the quality of human-machine interaction based on expert technologies has been developed, in particular, a direct evaluation method, which makes it possible to evaluate the quality of human-machine interaction taking into account the structure of the 3C model and to form templates based on the interface prototype for further use in the specified subject area.

Key words: human-machine interaction, user, computer system, quality, evaluation.

Постановка наукової проблеми. Розробка методу оцінювання якості людино-машинної взаємодії (LMV) включає в себе кілька ключових етапів та аспектів, які допомагають систематизувати та здійснити оцінку взаємодії користувачів з системою чи продуктом. Нижче наведено загальний план розробки методу:

Крок 1: Визначення Цілей. Які аспекти взаємодії будуть оцінюватися (ефективність, ефективність використання, задоволення користувачів, тощо)? Яка конкретна інформація або підсумки планується отримати через оцінювання?

Крок 2: Вибір Методів. Тестування з користувачами, анкетування, експертна оцінка, аналіз метрик продуктивності. Який обсяг взаємодії буде оцінюватися та протягом якого періоду?

Крок 3: Розробка Критеріїв та Метрик. Визначення параметрів, які будуть використовуватися для оцінювання взаємодії. Конкретні величини, які вказують на рівень кожного критерію.

Крок 4: Розробка Процедур. Визначення кроків, порядку дій та відповідальності учасників. Перевірка методу на реальних взаємодіях, можливо, пілотне тестування.

Крок 5: Здійснення Оцінювання. Проведення тестів, анкетування, спостереження або інші методи, які вибрані для оцінювання. Фіксація отриманих даних, виявлення проблем, аспектів, які потребують вдосконалення.

Крок 6: Аналіз та Звітність. Статистичний аналіз, інтерпретація результатів, визначення ключових висновків. Формулювання звіту, включаючи виявлені проблеми, рекомендації та можливі шляхи вдосконалення.

Крок 7: Впровадження Змін. Конкретні кроки для виправлення виявлених проблем та покращення взаємодії. Здійснення корекцій та покращень на основі отриманих результатів.

Крок 8: Оцінка Ітерації. Оцінка, чи вдалося вирішити виявлені проблеми та чи відбулися покращення. Пошук можливостей для вдосконалення самого методу оцінювання.

Мета роботи. Мета полягає у дослідженні методів і засобів оцінювання якості людино-машинної взаємодії в процесі проектування комп'ютерних систем.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Розробка методу оцінювання якості LMV - це динамічний процес, який може вимагати коригувань і вдосконалень на основі змін у вимогах користувачів та розвитку продукту чи системи.

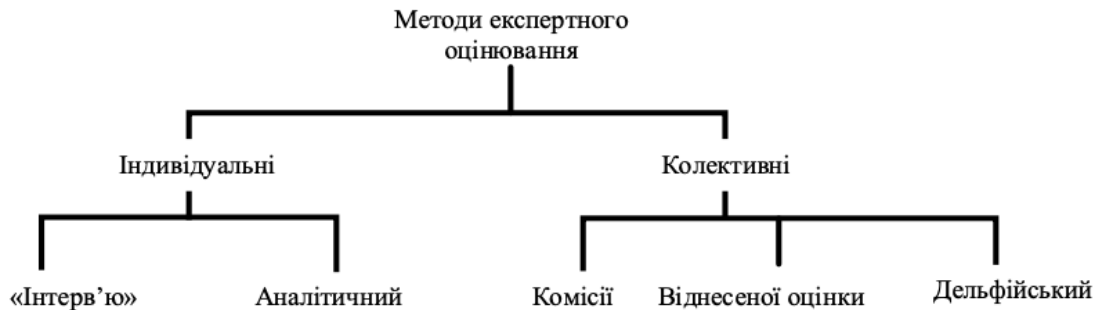


Рис.1. Структура експертного оцінювання

Методи експертного оцінювання в контексті людино-машинної взаємодії використовуються для отримання оцінок та експертних думок щодо якості і функціональності інтерфейсу, системи чи продукту. Експертне оцінювання може бути важливим етапом у розробці та вдосконаленні продуктів для забезпечення їхньої оптимальної взаємодії з користувачами. Ось деякі методи експертного оцінювання [2; 4]:

Експертні оцінки (Expert Ratings). Експерти виставляють оцінки різним аспектам продукту або системи, таким як інтерфейс, навігація, ефективність та інші.

Експертний огляд (Expert Review). Експерти вивчають інтерфейс або продукт і роблять висновки щодо його сильних та слабких сторін, ідентифікують проблеми взаємодії та рекомендують покращення.

Критичні інциденти (Critical Incident Technique). Експерти визначають конкретні події або ситуації, які можуть мати критичний вплив на взаємодію користувача з продуктом. Це дозволяє ідентифікувати ключові проблеми.

Когнітивне моделювання (Cognitive Walkthrough). Експерти послідовно проймаються крізь інтерфейс, спробуючи дійти до рішення завдань, і оцінюють, наскільки легко інтерфейс зрозумілий та зручний для використання.

Сценарії взаємодії (Interaction Scenarios). Експерти аналізують конкретні сценарії взаємодії користувача з системою, оцінюючи їхню ефективність та ідентифікуючи можливі проблеми.

Експертне опитування (Expert Surveys). Експерти відповідають на питання анкети або опитування, висловлюючи свою думку стосовно різних аспектів продукту.

Колективне експертне оцінювання (Delphi Method). Група експертів надає свої оцінки, інформацію або прогнози у циклах, після кожного з яких дані аналізуються і повторюється процес для досягнення консенсусу.

Експертна група (Expert Panels). Спеціалізована група експертів проводить дискусії та надає свої оцінки з певних питань взаємодії.

Ці методи можуть використовуватися окремо або в комбінації для отримання об'єктивних та комплексних експертних оцінок якості людино-машинної взаємодії.



Рис.2. Схема прототипів людино-машинної взаємодії

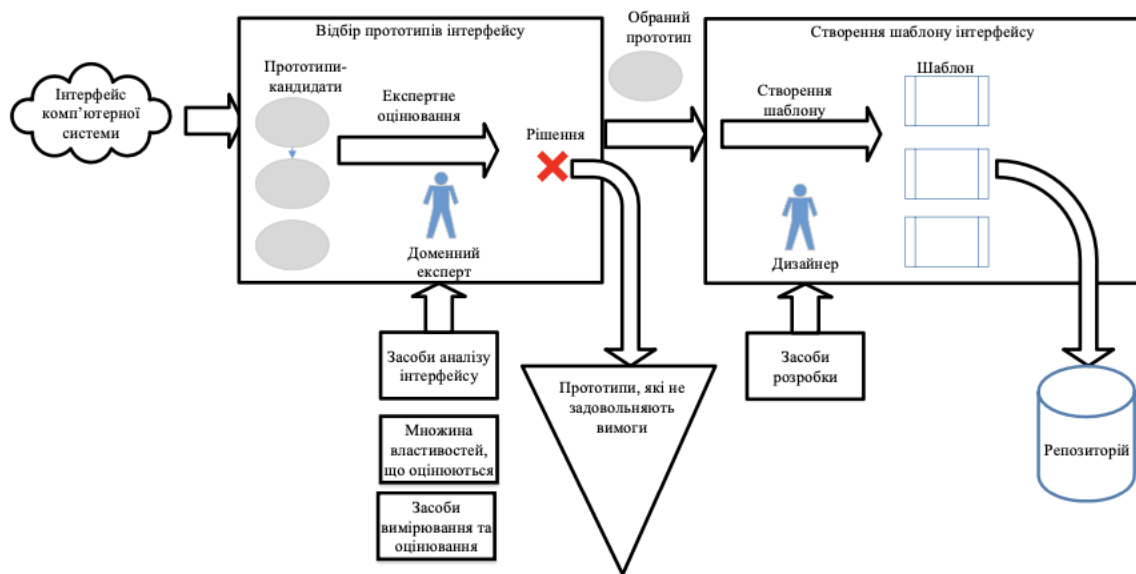


Рис.3. Прототип інтерфейсів людино-машинної взаємодії

Методи експертного оцінювання використовуються для отримання експертної думки та оцінки щодо якості людино-машинної взаємодії (LMV). Експерти можуть бути фахівцями в галузі дизайну інтерфейсів, психології користувачів, інженерії програмного забезпечення та іншими спеціалістами, які мають глибокі знання в області розробки та взаємодії з користувачем. Нижче подано деякі основні методи експертного оцінювання [5; 7]:

Метод Експертних Оцінок (Expert Judgment). Експерти оцінюють різні аспекти LMV на основі свого досвіду та знань. Цей метод може включати кілька експертів, які надають свої оцінки з певних критеріїв.

Метод Делфі (Delphi Method). Група експертів надає свої прогнози та оцінки незалежно один від одного. Потім результати обговорюються, і експерти надають свої оцінки знову. Цей процес повторюється до того часу, поки не досягнута консенсусна думка.

Метод Критичного Інциденту (Critical Incident Technique). Експерти аналізують конкретні ситуації (інциденти), які виникають під час взаємодії з системою, та оцінюють їх вплив на користувачів.

Метод Когнітивного Профілю (Cognitive Walkthrough). Експерти працюють через інтерфейс системи, спробовуючи передбачити, як користувачі будуть взаємодіяти з різними елементами. Оцінюються можливі труднощі та помилки.

Система Знаючих Експертів (Expert System). Використання комп'ютерних систем, які моделюють знання та експертні рішення у конкретній області, для автоматизації оцінки якості LMV.

Метод Проектування Прототипів (Prototyping). Створення прототипу системи або інтерфейсу для подальшої експертної оцінки. Експерти можуть взаємодіяти з прототипом та надавати зворотний зв'язок.

Метод Сценаріїв (Scenario-Based Evaluation). Експерти аналізують сценарії використання системи та надають оцінки відповідності їх очікуванням та потребам користувачів.

Аналіз Експертних Оцінок Та Зворотного Зв'язку (Expert Review and Feedback). Експерти можуть використовувати накопичений досвід та знання для аналізу вже існуючих систем чи продуктів та надання рекомендацій щодо їх вдосконалення.

Використання методів експертного оцінювання може бути корисним на ранніх етапах розробки для виявлення потенційних проблем та забезпечення виправлення перед тим, як продукт або система буде випущена на ринок.



Рис.4. Алгоритм інтерфейсів автоматизації

Автоматизувати процес оцінки якості людино-машинної взаємодії експерт повинен бути забезпечений засобами, що дозволяють перегляд програмного коду інтерфейсу, введення та збереження експертних оцінок оцінка. При визначенні рейтингів якості властивостей інтерфейсу експерт із взаємодії людина-машина може використовувати методи ранжирування, попарне порівняння або пряме оцінювання. Загалом, процедура уточнення моделей якості та оцінки властивостей компонентів показано на рисунку 5.



Рис.5. Засоби оцінки інтерфейсів

Метод ранжування експертних оцінок використовується для визначення важливості різних аспектів або альтернатив у відповіді на питання чи вирішення завдання. Експерти оцінюють кожен

аспект або альтернативу, і результати об'єднуються для створення загального рейтингу. Нижче подано кроки використання методу ранжування експертних оцінок:

Визначення Цілей та Критеріїв. Чітко визначте, що саме ви хочете ранжувати, і встановіть критерії оцінки, які експерти будуть використовувати.

Вибір Експертів. Виберіть групу експертів, які мають відповідні знання та досвід у даній області.

Надання Інструкцій. Надайте експертам інструкції щодо того, як вони мають проводити оцінки. Забезпечте їх конкретними критеріями та шкалами оцінювання.

Оцінювання Кожного Аспекту/Альтернативи. Дозвольте експертам оцінювати кожен аспект або альтернативу на основі встановлених критеріїв.

Збір та Агрегація Даних. Зібрати оцінки від кожного експерта та агрегувати їх для створення загального рейтингу. Це включає середнє значення, вагове середнє, чи інші методи агрегації.

Визначення Рангів. Призначте ранги кожному аспекту або альтернативі відповідно до їх загального рейтингу.

Аналіз та Інтерпретація Результатів. Проаналізуйте отримані результати, визначте тенденції та важливість кожного елемента в контексті загального завдання.

Зворотний Зв'язок з Експертами. Забезпечте можливість обговорення та зворотного зв'язку з експертами щодо отриманих результатів. Це може включати пояснення чи уточнення їх оцінок.

Вдосконалення Методології. Якщо потрібно, вносьте корективи у методологію, щоб покращити точність та об'єктивність оцінювання.

Метод ранжування експертних оцінок використовується в різних галузях, таких як бізнес, наука, дизайн інтерфейсів та інші, де потрібно визначити важливість та пріоритетність різних елементів чи альтернатив.

Висновки. Основні результати, які отримані в роботі полягають в наступному:

1. Проведено аналіз та обґрунтовано використання моделей щодо практичності, зручності використання та якості у використанні в процесі оцінювання якості людино-машинної взаємодії, що дало змогу врахувати більше критеріїв якості при оцінюванні користувацьких інтерфейсів комп'ютерних систем, тим самим забезпечивши більшу повноту і достовірність результатів в порівнянні з відомими моделями.

2. Побудовано модель оцінювання якості людино-машинної взаємодії на основі принципів моделі 3С (Conception, Construction, Context) з врахуванням характеристик і структури моделі якості у використанні, моделі практичності та моделі зручності використання, що дало змогу забезпечити і врахувати відображення цілей створення людино-машинної взаємодії на структуру і контекст його використання.

3. Розроблено метод оцінювання якості людино-машинної взаємодії на основі експертних технологій, зокрема методу безпосередньої оцінки, що дає змогу оцінювати якість людино-машинної взаємодії з врахуванням структури моделі 3С та формувати на основі прототипу інтерфейсу шаблони для подальшого використання у визначеній предметній області.

Список бібліографічного опису

1. Bertoa M.F., Troya J.M., Vallecillo A. Measuring the usability of software components. Journal of Systems and Software. Volume 79. Issue 3. 2006. P. 427-439.
2. John M. Carroll Human Computer Interaction (HCI). URL: <http://www.interaction-design.org/encyclopedia/human-computer-interaction-hci.html> (дата звернення 11.11.2023 р.)
3. ISO/IEC 12207:2008. System and software engineering – Software life cycle processes. International Organization for Standardization. International Electrotechnical Commission. 2008. c.18. URL: <http://www.abelia.com/docs/12207cpt.pdf> (дата звернення 12.11.2023 р.).
4. ISO/IEC 15288:2008 System and software engineering – System life cycle processes. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2008. C. 70 URL: http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec15288%7Bed2.0%7Den.pdf (дата звернення 15.11.2023 р.)
5. IEEE 830-1998 Recommended practice for software requirements specifications [Електронний ресурс] / Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1998. c. 35 URL: <http://amutiara.staff.gunadarma.ac.id/leee+Std+830-1998+-+Recommended+Practice+for+SW+Req.+Spec.pdf> (дата звернення 13.11.2023 р.).
6. ISO 9001:2000 Quality management systems – Requirements / International Organization for Standardization. 2000. P.45. URL: <http://www.praxiom.com/iso-9001.htm> (дата звернення 17.11.2023 р.).
7. ISO/IEC 9126-1:2001 Software engineering – Product quality – Part 1: Quality model. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2008. P. 135. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-1.pdf> (дата звернення 17.11.2023 р.).

8. ISO/IEC 9126-2:2002 Software engineering – Product quality – Part 2: External metrics. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2002. P. 75. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-2.pdf> (дата звернення 17.11.2023 р.).
9. 2003. ISO/IEC 9126-3:2003, Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2003. P. 89. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-3.pdf> (дата звернення 17.11.2023 р.).
10. ISO/IEC 9126-4:2004 Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2004. P. 105. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-4.pdf> (дата звернення 17.11.2023 р.).
11. ISO/IEC 14598-1:1999 Information technology – Software product evaluation – Part 1: General overview. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 1999. P. 18. URL: http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec14598-1%7Bed1.0%7Den.pdf (дата звернення 17.11.2023 р.).

References

1. Bertoa M.F., Troya J.M., Vallecillo A. Measuring the usability of software components. Journal of Systems and Software. Volume 79. Issue 3. 2006. P. 427-439.
2. John M. Carroll Human Computer Interaction (HCI). URL: http://www.interaction-design.org/encyclopedia/human_computer_interaction_hci.html (accessed 11/11/2023)
3. ISO/IEC 12207:2008. System and software engineering – Software life cycle processes. International Organization for Standardization. International Electrotechnical Commission. 2008. p. 18. URL: <http://www.abelia.com/docs/12207cpt.pdf> (access date 11/12/2023).
4. ISO/IEC 15288:2008 System and software engineering – System life cycle processes. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2008. C. 70 URL: http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec15288%7Bed2.0%7Den.pdf (date of access 11/15/2023)
5. IEEE 830-1998 Recommended practice for software requirements specifications [Electronic resource] / Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1998. c. 35 URL: <http://amutiara.staff.gunadarma.ac.id/leee+Std+830-1998+-+Recommended+Practice+for+SW+Req.+Spec.pdf> (access date 11/13/2023) .
6. ISO 9001:2000 Quality management systems – Requirements / International Organization for Standardization. 2000. P.45. URL: <http://www.praxiom.com/iso-9001.htm> (access date 11/17/2023).
7. ISO/IEC 9126-1:2001 Software engineering – Product quality – Part 1: Quality model. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2008. R. 135. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-1.pdf> (access date 11/17/2023).
8. ISO/IEC 9126-2:2002 Software engineering – Product quality – Part 2: External metrics. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2002. R.75. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-2.pdf> (access date 11/17/2023).
9. 2003. ISO/IEC 9126-3:2003, Software engineering – Product quality – Part 3: Internal metrics. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2003. P.89. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-3.pdf> (access date 11/17/2023).
10. ISO/IEC 9126-4:2004 Software engineering – Product quality – Part 4: Quality in use metrics. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 2004. P.105. URL: <http://www.management.uz/images/file/ISO9126-4.pdf> (access date 11/17/2023).
11. ISO/IEC 14598-1:1999 Information technology – Software product evaluation – Part 1: General overview. International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission. 1999. P. 18. URL: http://webstore.iec.ch/preview/info_isoiec14598-1%7Bed1.0%7Den.pdf (accessed 11/17/2023).

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-36>

УДК 004.715

Черняшук Наталія Леонідівна, д.пед.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

Бортник Катерина Яківна, к.т.н., доцент

<http://orcid.org/0000-0001-5282-099X>

Тишук Максим Анатолійович, магістрант

Гнітецький Віталій Віталійович, магістрант

Кучер Віталій Леонідович, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МЕТОДИ КЛАСИФІКАЦІЇ АТРИБУТІВ ЯКОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Черняшук Н.Л., Бортник К.Я., Тишук М.А., Гнітецький В.В., Кучер В.Л. Методи класифікації атрибутів якості комп'ютерних систем. В роботі здійснено аналіз наукових праць та практики впровадження методів і засобів для класифікації ознак якості комп'ютера систем, дослідження особливостей процесу забезпечення якості комп'ютерних системи, розробка методу та засобів класифікації ознак якості комп'ютера системи на основі характеристик якості, поданих у текстовій формі. Проведено аналіз предметної області та специфіки процесу класифікації ознак якості комп'ютерних систем, основні сутності та визначено їх властивості, функціональні вимоги до програмного забезпечення. Метод класифікації атрибутів якості комп'ютерних систем. Це дозволило проектувати та реалізовувати архітектуру системи з урахуванням особливостей Метод QFD та запропонована процедура класифікації з використанням мови C# та Технології ASP NET MVC.

Ключові слова: метод, засіб, класифікація, атрибут, комп'ютерна система, якість.

Chernyashchuk N., Bortnyk K.Y., Tyschuk M., Hnitskyi V., Kucher V. Methods of classification of quality attributes of computer systems. The main tasks of the master's thesis are the analysis of scientific works and the practice of implementing methods and tools for the classification of computer system quality features, researching the features of the process of ensuring the quality of computer systems, developing a method and means of classifying computer system quality features based on the quality characteristics presented in the text form. An analysis of the subject area and the specifics of the process was carried out, the classification of the quality features of computer systems, the main entities and their properties were determined, the functional requirements for the software. The method of classification of the quality attributes of computer systems. classification using the C# language and ASP NET MVC technology.

Key words: method, tool, classification, attribute, computer system, quality.

Постановка наукової проблеми. Визначення атрибутів якості комп'ютерних систем, важливий крок у розробці та управлінні програмним забезпеченням. Існує кілька алгоритмів та методів, які можуть бути використані для цього завдання. Однак конкретний алгоритм може варіюватися в залежності від контексту та вимог конкретного проекту.

Для визначення основних зацікавлених сторін (стейкхолдерів), які взаємодіють з системою. Ними можуть бути користувачі, клієнти, менеджери, розробники, тестувальники тощо. Потрібно провести спільні обговорення та інтерв'ю для збору вимог від стейкхолдерів. Визначити, які аспекти системи є для них критичними з точки зору якості. Виокремити та класифікувати атрибути якості відповідно до міжнародних стандартів, таких як ISO/IEC 25010. Типові категорії включають продуктивність, ефективність, надійність, сумісність, підтримку і т. д. Встановити конкретні метрики для вимірювання кожного атрибуту якості. Наприклад, для продуктивності це може бути час відповіді, для надійності - кількість відмов тощо. Визначити, які значення метрик вважатимуться прийнятними та неприйнятними для кожного атрибуту якості. Зафіксувати всі визначені атрибути якості, метрики та порогові значення у вимогах до системи. Це може бути представлено у вигляді специфікації вимог чи іншого документа. Здійснити аналіз і оцінку визначених атрибутів якості для визначення, наскільки система відповідає вимогам. Врахувати, що визначення атрибутів якості - це ітеративний процес. З урахуванням змін у вимогах чи умовах використання, оновлюйте атрибути якості відповідно.

Аналіз досліджень. Даний підхід може бути адаптований в залежності від конкретних потреб та контексту проекту. Важливо взаємодіяти зі стейкхолдерами та забезпечити, що визначені атрибути якості відображають реальні потреби користувачів та вимоги бізнесу.

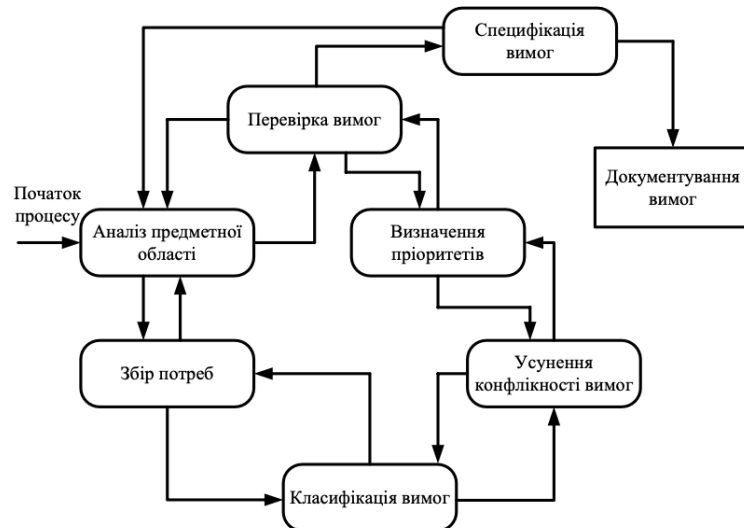


Рис. 1. Алгоритм розробки і аналізу КС [2]

При використанні даного підходу на основі стандартних моделей якості ISO/IEC 25010 для формування вимог, схема процесу їх розробки та аналізу.

Пропонується перетворити з форми, зображеної на рисунку 1, наприклад показано на рисунку 2.

З аналізу діаграми алгоритму процесу розробки та аналізу вимог, наведених в рисунку 2, видно, що формування вимог здійснюється за трьома моделями якості, які дозволяють структурувати і забезпечувати їх спілкування одночасно стандартизація.

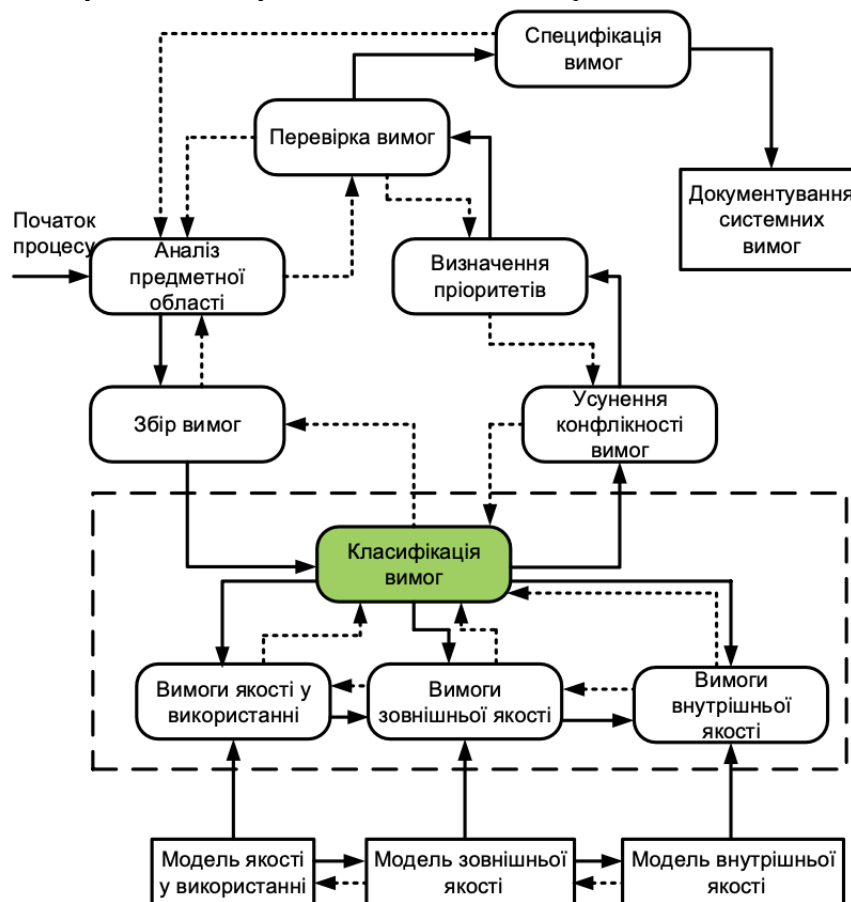


Рис. 2. Алгоритм розробки і аналізу КС на основі МЯ [4]

Автоматизувати процес класифікації ознак за ознаками якості, необхідно визначити характеристики для кожної характеристики якості в трьох моделі: модель якості у використанні, зовнішня модель і внутрішня модель якості.

Мета роботи. Полягає у дослідженні методів і засобів класифікації атрибутів якості комп'ютерних систем, представлених у текстовому вигляді, за стандартизованими характеристиками якості для підвищення ефективності реалізації комп'ютерних систем.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Визначення ознак характеристик якості та обґрунтування формалізованого представлення моделей якості важливо для ефективного управління якістю комп'ютерних систем. Ознаки характеристик якості:

Продуктивність: швидкодія, відгук, завантаження системи. Приклади метрик – час відповіді, пропускна здатність, завантаження сервера.

Ефективність: використання ресурсів, оптимізація алгоритмів. Приклади метрик – витрати пам'яті, час виконання алгоритму.

Надійність: стабільність, відновлюваність, здатність до відновлення. Приклади метрик – кількість відмов, середній час між відмовами.

Сумісність: взаємодія з іншими системами, сумісність інтерфейсів. Приклади метрик – рівень сумісності зі стандартами, кількість інтерфейсних конфліктів.

Безпека: керування доступом, захист від атак, конфіденційність даних. Приклади метрик – кількість виявлених уразливостей, час виявлення та реагування на інциденти безпеки.

Тривалість життя та обслуговування: підтримка, легкість модифікації, масштабованість. Приклади метрик – час відновлення після виправлення помилок, час налагодження нового функціоналу.

Формалізоване представлення моделей якості:

ISO/IEC 25010 – міжнародний стандарт, який надає модель для характеристик якості та підхарактеристик. Характеристики представлені як високорівневі категорії, а підхарактеристики визначають конкретні аспекти цих категорій.

Модель FURPS+:

Визначає п'ять категорій атрибутів якості: функціональність, надійність, витрати, продуктивність та сумісність. Кожна категорія визначається через конкретні атрибути та їхні вимоги.

Модель Боема:

Визначає п'ять основних атрибутів якості: продуктивність, надійність, зручність використання, технічна підтримка та сумісність. Кожен атрибут визначається через конкретні підхарактеристики та метрики.

Формалізоване представлення моделей якості може включати математичні вирази, графіки, табличні представлення та інші засоби для чіткого визначення та вимірювання атрибутів якості. Основна ідея полягає в тому, щоб забезпечити точне і формалізоване визначення критеріїв, які визначають якість системи.

Вимоги зовнішньої якості (external quality requirements) програмного забезпечення (ПЗ) визначають, як система повинна вести себе в операційному середовищі та як користувачі взаємодіють із системою. Ці вимоги визначають характеристики, які можна спостерігати під час роботи системи. Декілька типових вимог зовнішньої якості включають [2]:

Ефективність – система повинна реагувати на користувацькі запити протягом прийнятного часу.

Продуктивність – система повинна забезпечувати ефективне використання ресурсів.

Стабільність – система повинна залишатися стабільною під час роботи без частих відмов або збоїв.

Відновлення – система повинна відновлюватися після відмов або збоїв без втрати даних або важливої інформації.

Взаємодія з іншими системами – система повинна ефективно взаємодіяти з іншими системами, які використовуються в організації.

Сумісність з ПЗ – система повинна бути сумісною з різними операційними системами та програмним забезпеченням.

Інтерфейс користувача – інтерфейс повинен бути зрозумілим, зручним та ергономічним.

Надається достатня документація, яка допомагає користувачам ефективно використовувати систему.

Захист даних – забезпечується захист конфіденційності та цілісності даних.

Керування доступом – визначається система управління доступом для запобігання несанкціонованому доступу.

Легкість модифікації – система повинна бути легкою для модифікацій та оновлень.

Технічна підтримка – забезпечується належна технічна підтримка та обслуговування.

Переносимість – система повинна бути портативною між різними платформами та середовищами.

Ці вимоги визначаються з урахуванням потреб користувачів, бізнес-вимог, а також урахуванням можливостей і обмежень технічної архітектури та інфраструктури. Якість зовнішньої взаємодії та характеристики роботи системи є важливими елементами для задоволення потреб користувачів і успіху проекту [5].



Рис. 3. Алгоритм зовнішньої якості

Формалізація моделі внутрішньої якості програмного забезпечення включає визначення ієрархічної структури залежностей між характеристиками внутрішньої якості, аналогічно до моделі зовнішньої якості. Основною метою внутрішньої якості є забезпечення ефективності, обслуговуваності та розширюваності системи. Загальні категорії та ієрархічна структура для внутрішньої якості [4]:

Структура та Архітектура – розділення системи на логічні модулі для спрощення розробки та обслуговування; ефективне управління та збереження даних в системі.

Ефективність та Оптимізація – ефективне використання пам'яті та обчислювальних ресурсів; мінімізація часу виконання та оптимізація алгоритмів.

Безпека та Надійність – захист системи від зловмисників та забезпечення цілісності даних; механізми для виявлення та виправлення помилок.

Тестування та Валідація – визначення методів та критеріїв для внутрішнього тестування; перевірка правильності та валідності введених даних.

Обслуговуваність та Легкість Модифікації – можливість додавання нового функціоналу без зміни вже існуючого коду; забезпечення легкості управління та виправлення системи.

Документація та Коментарі – наявність докладної та зрозумілої документації до коду; забезпечення належної документації через коментарі в коді.

Використання Стандартів та Інструментів – використання стандартів розробки для забезпечення якості коду; використання ефективних інструментів для розробки, тестування та валідації.

Формалізація цих характеристик включає визначення метрик, критеріїв, правил та стандартів, які дозволяють вимірювати та оцінювати різні аспекти внутрішньої якості програмного забезпечення. Такий підхід визначає, наскільки добре система відповідає стандартам та вимогам внутрішньої якості [3, 4].

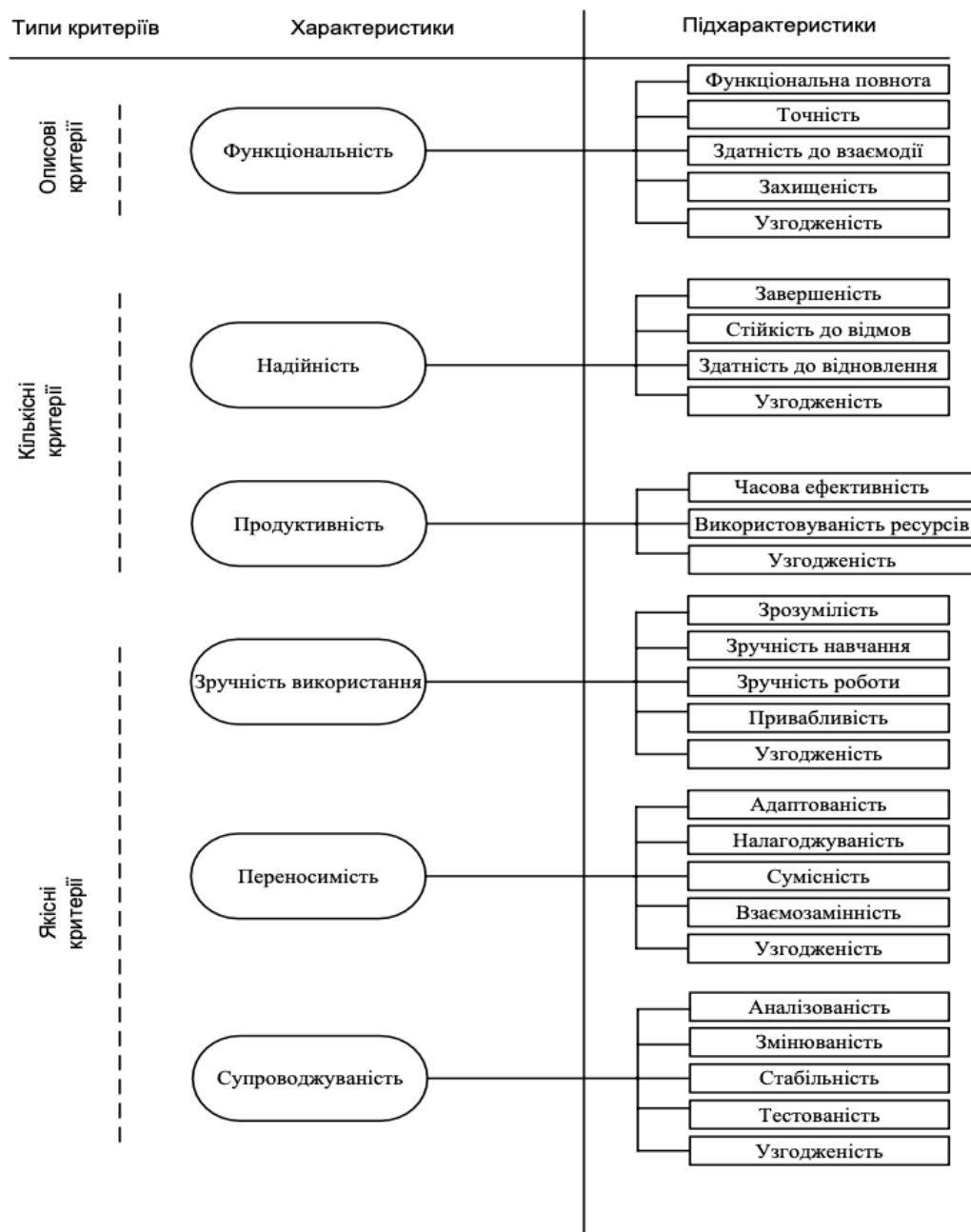


Рис. 4. Алгоритм ВЯ

Висновки. Проведено аналіз успішності проектів комп'ютерних систем, у тому числі програмних компонентів, та визначено негативні фактори впливу як кінцевої системи. Основні з них – неточність або неадекватність. Класифікація атрибутів та показників якості відповідно до стандартизованих характеристик потребує додаткового дослідження методів та засобів класифікації, зокрема тексту даних.

Проведено аналіз моделей якості для оцінки відповідності заявлених вимог до комп'ютерної системи реалізованим властивостям, що дозволило обґрунтувати використання моделей стандарту ISO/IEC 25010 для представлення характеристик комп'ютерної системи.

Проаналізовано принципи та структуру процесу класифікації текстової інформації, що дозволило виявити потенційні інтелектуальні методи класифікації ознак якості комп'ютерних систем за стандартизованими наборами характеристик.

Обґрунтовано алгоритм класифікації ознак якості комп'ютера. системи, яка полягає у використанні моделей якості стандарту ISO/IEC 25010 для представлення вимог до комп'ютерних систем і дає змогу визначити класи, на які класифікуються вимоги та реалізовані властивості комп'ютерної системи.

Список бібліографічного опису

- 1.Мар'ян М. В. Алгоритми ідентифікації об'єктів Інтернет речей на основі технології блокчейн / Algorithms for Internet things objects identifying based on blockchain technology [Електронний ресурс] / МУРИН Васильович Мар'ян // dspace.wunu.edu.ua. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: http://dspace.wunu.edu.ua/jspui/bitstream/316497/32438/1/%D0%9A%D1%96%D0%BC21_%D0%9C%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%BD_%D0%9C.pdf.
- 2.Brooks T. The key to understanding wireless connectivity in the industrial IoT [Електронний ресурс] / Tim Brooks // Infovista. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.infovista.com/blog/understanding-wireless-connectivity-in-the-industrial-iot>.
- 3.Heiney S. Industrial Internet of Things (IIoT) Security: Everything You Need to Know [Електронний ресурс] / Sam Heiney // ImperoSoftware. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.imperosoftware.com/industrial-internet-of-things-complete-guide/>.
- 4.Shea S. LPWAN (low-power wide area network) [Електронний ресурс] / Sharon Shea // IoT Agenda. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>.
- 5.EMnify. Cellular IoT: What Business Leaders Should Know [Електронний ресурс] / EMnify // EMnify. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emnify.com/blog/cellular-iot>.
- 6.Acosta G. The ZigBee Protocol [Електронний ресурс] / Gonzalo Acosta // netguru. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.netguru.com/blog/the-zigbee-protocol>.
- 7.Digi I. Understanding the Zigbee 3.0 Protocol [Електронний ресурс] / International Digi // digi. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.digi.com/blog/post/understanding-the-zigbee-3-0-protocol>.
8. Wireless mesh network [Електронний ресурс] // Wikipedia – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network.
9. Почему Bluetooth IoT? [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mokoblue.com/ru/why-bluetooth-iot/>.
- 10.Вичугова А. RFID [Електронний ресурс] / Анна Вичугова // bigdataschool. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/rfid>.
- 11.Weiss J. Wireless Sensor Networking for the Industrial Internet of Things [Електронний ресурс] / J. Weiss, Y. Ross // analog – Режим доступу до ресурсу: <https://www.analog.com/ru/technical-articles/wireless-sensor-networking-for-industrial-iiot.html>.
- 12.Sisinni E. Wireless Communications for Industrial Internet of Things: The LPWAN Solutions [Електронний ресурс] / E. Sisinni, A. Mahmood // ResearchGate. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/347587880_Wireless_Communications_for_Industrial_Internet_of_Things_The_LPWAN_Solutions.

References

1. Maryan M. V. Algorithms for Internet of things identifying objects based on blockchain technology / Algorithms for Internet things objects identifying based on blockchain technology [Electronic resource] / Maryan MURYIN // dspace.wunu.edu.ua. – 2018. – Resource access mode: http://dspace.wunu.edu.ua/jspui/bitstream/316497/32438/1/%D0%9A%D1%96%D0%BC21_%D0%9C%D1%83%D1%80%D0%B8%D0%BD_%D0%9C.pdf.
2. Brooks T. The key to understanding wireless connectivity in the industrial IoT [Electronic resource] / Tim Brooks // Infovista. – 2020. – Mode of access to the resource: <https://www.infovista.com/blog/understanding-wireless-connectivity-in-the-industrial-iot>.
3. Heiney S. Industrial Internet of Things (IIoT) Security: Everything You Need to Know [Electronic resource] / Sam Heiney // ImperoSoftware. – 2021. – Mode of access to resources at: <https://www.imperosoftware.com/industrial-internet-of-things-complete-guide/>.
4. Shea S. LPWAN (low-power wide area network) [Electronic resource] / Sharon Shea // IoT Agenda. – 2017. – Resource access mode: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network>.
5. EMnify. Cellular IoT: What Business Leaders Should Know [Electronic resource] / EMnify // EMnify. – 2020. – Resource access mode: <https://www.emnify.com/blog/cellular-iot>.
6. Acosta G. The ZigBee Protocol [Electronic resource] / Gonzalo Acosta // netguru. – 2018. – Resource access mode: <https://www.netguru.com/blog/the-zigbee-protocol>.
7. Digi I. Understanding the Zigbee 3.0 Protocol [Electronic resource] / International Digi // digi. – 2018. – Resource access mode: <https://www.digi.com/blog/post/understanding-the-zigbee-3-0-protocol>.

8. Wireless mesh network [Electronic resource] // Wikipedia – Resource access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_mesh_network.
9. Why Bluetooth IoT? [Electronic resource]. – 2020. – Mode of access to the resource: <https://www.mokoblue.com/ru/why-bluetooth-iot/>.
10. Vychugova A. RFID [Electronic resource] / Anna Vychugova // bigdataschool. – 2019. – Mode of access to resource: <https://www.bigdataschool.ru/wiki/rfid>.
11. Weiss J. Wireless Sensor Networking for the Industrial Internet of Things [Electronic resource] / J. Weiss, Y. Ross // analog – Resource access mode: <https://www.analog.com/ru/technical-articles/wireless-sensor-networking-for-ind-iiot.html>.
12. Sisinni E. Wireless Communications for Industrial Internet of Things: The LPWAN Solutions [Electronic resource] / E. Sisinni, A. Mahmood // ResearchGate. – 2021. – Mode of access to resources at: https://www.researchgate.net/publication/347587880_Wireless_Communications_for_Industrial_Internet_of_Things_The_LPWAN_Solutions.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-37>

УДК 004.715

Черняшук Наталія Леонідівна, д.пед.н., професор<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>**Матвійчук Андрій Миколайович**, магістрант**Остапук Денис Віталійович**, магістрант**Шелепіна Олег Валерійович**, магістрант**Бондарчук Владислав Григорович**, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

МЕТОДИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖЕВИХ КОМУТАТОРІВ З ПІДТРИМКОЮ ТЕХНОЛОГІЙ GEPON TA LTE

Черняшук Н.Л., Матвійчук А.М., Остапук Д.В., Шелепіна О.В., Бондарчук В.Г. **Методи побудови мережеских комутаторів з підтримкою технологій GEAPON та LTE.** Проаналізовано методи і засоби будівництва мережеских комутаторів з підтримкою технологій GEAPON і LTE, для забезпечення безперебійного підключення до Інтернету через резервування канали зв'язку, а також балансування навантаження мережеских інтерфейсів, щоб зменшити навантаження від перевантаженого інтерфейсу, або якщо є перебої в Інтернет-з'єднанні з одним або кількома інтерфейсами. Розглядаються методи і засоби взаємодії комутатора і мережеских технологій передачі даних GEAPON, LTE і Ethernet, обидва на апаратний рівень і рівень програмного забезпечення. Мережеский комутатор із посиланням на основну програму для Мережа GEAPON і резервний аплінк для мережі LTE.

Ключові слова: комутатор, маршрутизатор, інтернет, GEAPON, LTE, ETHRNET, мікроконтролер, модем, пакети, кадри, пропускна швидкість.

Chernyashchuk N., Matviychuk A., Ostapuk D., Shelepina O., Bondarchuk V. **Methods of building network switches with support for GEAPON and LTE technologies.** The methods and means of building network switches with support for GEAPON and LTE technology were analyzed to ensure uninterrupted Internet connection through the redundancy of communication channels, as well as load balancing of network interfaces to reduce the load from an overloaded interface, or if there are interruptions in the Internet connections with one or more interfaces. The methods and means of interaction of the switch and network data transmission technologies GEAPON, LTE and Ethernet are considered, both at the hardware level and at the software level. A network switch with a link to the main application for the GEAPON Network and a backup uplink for the LTE network.

Keywords: switch, router, Internet, GEAPON, LTE, ETHRNET, microcontroller, modem, packets, frames, bandwidth.

Постановка наукової проблеми. Взаємодія між мережами GEAPON, LTE та Ethernet є важливою у великих телекомунікаційних інфраструктурах, де ці технології застосовуються для забезпечення різних видів послуг передачі даних. Ось кілька аспектів їхньої взаємодії:

Мережі GEAPON і Ethernet існують поруч, особливо востаннє створені останнім часом. GEAPON часто використовується для підключення абонентських терміналів (ONU) до оптичного волокна, а Ethernet використовується для забезпечення внутрішньоофісної або внутрішньобудинкової мережі. Сучасні комутатори часто підтримують інтеграцію з GEAPON [2].

GEAPON та LTE використовуються для забезпечення доступу до Інтернету та телекомунікаційних послуг. Наприклад, GEAPON може бути використаний для підключення домогосподарств або бізнесів до оптичного волокна, а LTE може забезпечувати мобільний доступ для користувачів в русі або в областях, де немає можливості проведення оптичного волокна.

Ethernet використовується для створення внутрішньої мережі в офісах або будинках, а LTE служить як зовнішній інтернет-зв'язок для тих, хто перебуває в русі або в областях, де немає фіксованого підключення.

Метою роботи є розробка мережеского комутатора з підтримкою технологій GEAPON та LTE.

Аналіз досліджень. Мережеске управління важливе для забезпечення ефективної роботи всіх компонентів. Протоколи управління, такі як Simple Network Management Protocol (SNMP), використовується для відстеження та діагностики стану пристроїв у мережі [3; 4].

Службовий рівень. Забезпечення якості послуг (QoS) і призначення пріоритетів трафіку важливо для ефективної роботи мережі, особливо при спільному використанні ресурсів, таких як пропускна здатність. Важливо зазначити, що інтеграція цих технологій вимагає правильної конфігурації та відповідних пристроїв для забезпечення сумісності та ефективності системи. Взаємодія між мережами GEAPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network), LTE (Long-Term Evolution) та Ethernet може виникати у різних сценаріях, особливо при використанні цих технологій в єдиній інфраструктурі для надання послуг зв'язку. Нижче подано загальний огляд взаємодії між цими технологіями:

Взаємодія між GEAPON та Ethernet. GEAPON використовує технологію Ethernet для передачі даних в оптичних мережах. Оптичний лінійний термінал (OLT) у GEAPON мережі підключається до Оптичних Мережових Установок (ONU або ONU) за допомогою оптичних волокон, а затим ONU забезпечує Ethernet-підключення до пристроїв користувача, таких як комп'ютери, телефони та інші.

Взаємодія між LTE та Ethernet. LTE також використовує технологію Ethernet для передачі даних, зокрема на рівні зв'язку та IP-протоколів. Бездротові базові станції (eNodeB) в мережі LTE забезпечують з'єднання з кінцевими користувачами через радіоінтерфейс, а звідти дані передаються через мережу LTE до обчислювального центру (Core Network), де використовується Ethernet для передачі даних між різними компонентами мережі.

Інтеграція GEAPON, LTE та Ethernet. У сучасних мережах може виникати потреба в інтеграції різних технологій для надання комплексних послуг. Наприклад, може бути реалізована інтеграція GEAPON та LTE для забезпечення швидкого та стійкого з'єднання для абонентів. Окрім того, комутація Ethernet може використовуватися для забезпечення взаємодії між різними компонентами мережі та обслуговування абонентів.

Оптимізація мереж. Оптимізація може бути проведена для забезпечення ефективної взаємодії між різними технологіями. Наприклад, може бути встановлено мережові комутатори чи інші проміжні пристрої, які сприяють збільшенню пропускної здатності та оптимізації маршрутизації даних.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Загальна архітектура та взаємодія між цими технологіями різняться в залежності від конкретної мережової інфраструктури та потреб користувача.

Основний базовий пристрій для побудови комутатора для резервування для мереж GEAPON і LTE обрано TP-Link TL-R480T+ (див. Рисунок 1) [5; 6].



Рис. 1. TP-Link TL-R480T+

TP-Link TL-R480T+ є маршрутизатором, призначеним для використання в бізнес-середовищах та невеликих офісах. Ось деякі основні характеристики цього пристрою: TL-R480T+ має більше одного порту WAN, що дозволяє підключати пристрій до декількох інтернет-ліній для забезпечення надійності підключення та збільшення пропускної здатності. Пристрій підтримує функцію балансування навантаження між різними WAN-портами, що дозволяє оптимізувати використання доступних інтернет-з'єднань. Маршрутизатор обладнаний вбудованим брандмауером для забезпечення безпеки мережі та контролю доступу. Підтримка технології QoS, що дозволяє призначати пріоритети для конкретних видів трафіку, забезпечуючи ефективне використання пропускної здатності. Підтримка VPN (Virtual Private Network) для безпечного з'єднання з іншими мережами або віддаленими користувачами. Підтримка різних стандартів безпеки, таких як WEP, WPA/WPA2, для захисту бездротового підключення. Підтримка IPv6, що є важливим у зв'язку з поступовим переходом до нового покоління IP-адрес. Вбудовані сервіси DHCP, DNS, а також можливість налаштування правил портів, фільтрації URL, інспекції пакетів тощо [7; 8].

TP-Link TL-R480T+ - це багатопортовий бізнес-маршрутизатор, який призначений для використання в невеликих офісах або мережах малого бізнесу. Основні характеристики можуть включати. TL-R480T+ може мати декілька WAN-портів для підключення до різних інтернет-каналів або для резервного каналу.

Підтримка функції балансування навантаження для розподілу трафіку між різними WAN-портами, щоб забезпечити оптимальне використання доступних інтернет-з'єднань.

Підтримка Virtual Private Network (VPN) для створення захищених тунелів для забезпечення безпеки комунікацій між різними мережами.

Вбудований фаєрвол та функції захисту від атак для забезпечення безпеки мережі. Підтримка QoS для керування пропускною здатністю та пріоритетами різних типів трафіку. Можливість

© Черняшук Н.Л., Матвійчук А.М., Остапук Д.В., Шелепіна О.В., Бондарчук В.Г.

централізованого управління через веб-інтерфейс. Підтримка IPv6 для забезпечення майбутньої сумісності з новими інтернет-стандартами. Деякі моделі можуть мати вбудований бездротовий маршрутизатор для створення бездротової мережі.

Конкретні характеристики можуть змінюватися в залежності від версії обладнання та програмного забезпечення. Рекомендується переглядати офіційну документацію TP-Link для конкретної моделі маршрутизатора. TP-Link TL-R480T+ не має вбудованого абонентського терміналу для пасивних оптичних мереж PON і без модему для мобільної мережі LTE, ми розширюємо функціональність і апаратне забезпечення мікроконтролер Raspberry Pi 4 Model B (див. Рисунок 2).



Рис. 2. Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi має загально прийнятий стандарт для розпіновки GPIO (General Purpose Input/Output), що дозволяє користувачам використовувати ці порти для взаємодії з різними сенсорами, пристроями та іншим обладнанням.

J8 Header:

Основний заголовок для підключення до GPIO роз'ємів.

markdownCopy code

```
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40 -----
----- | 3V3 | 5V | SDA | ||| GND | ||||| | -----
```

Бокові GPIO роз'єми:

Бічні роз'єми GPIO можуть також використовуватися для підключення до GPIO портів.

markdownCopy code

```
1 2 3 4 5 ----- | |||| | -----
```

GPIO Назви:

Верхня розпіновка має назви GPIO портів, такі як GPIO2, GPIO3, SDA, SCL тощо.

markdownCopy code

```
1 2 3 4 5 ----- | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | -----
```

Кожен GPIO порт використовується для введення або виведення сигналу, а також для підключення до різноманітних пристроїв. При розробці або використанні конкретного пристрою, рекомендується перевірити офіційну документацію для точної розпіновки та функціональності кожного GPIO порту.

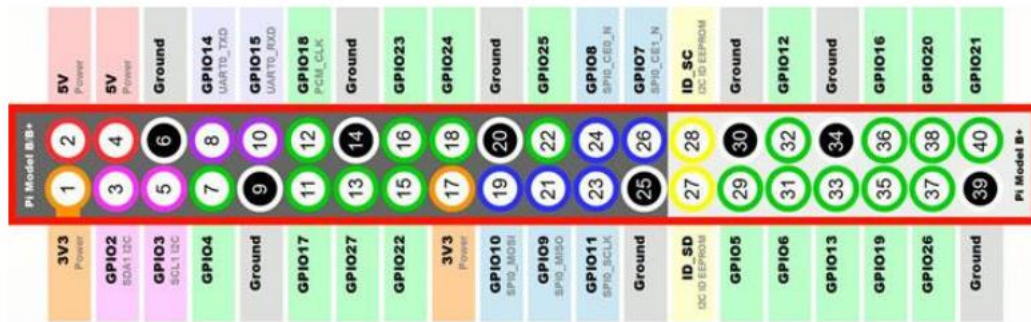


Рис. 3. GPIO інтерфейси

Raspberry Pi має GPIO (General Purpose Input/Output) роз'єм, який дозволяє здійснювати зовнішні з'єднання з різними пристроями та електронікою. Нижче наведена загальна розпіновка GPIO для Raspberry Pi 4 Model B та більш ранніх версій. Розпіновка відрізняється в залежності від версії Raspberry Pi.

Роз'єм GPIO на Raspberry Pi призначений для використання як входи та виходи для підключення різних електронних пристроїв, таких як сенсори, LED, реле та інші.

Напруга та заземлення:

3V3 (3,3 вольти): Постійна напруга 3,3 вольти.

5V (5 вольтів): Постійна напруга 5 вольтів.

GND (заземлення): Заземлення.

Введення/Виведення GPIO:

GPIO (General Purpose Input/Output): Це індивідуальні пini для введення/виведення. Кожен pin може бути налаштований як вхід або вихід.

Є також пini, які можуть використовуватися для різноманітних цілей, таких як SPI, I2C, UART, PWM тощо.

Нижче подається загальний перелік pinів для Raspberry Pi 4 Model B. Загальний огляд, і для конкретної розпіновки моделі може знадобитися перевірка документації Raspberry Pi або конкретної дошки.

scssCopy code

3V3 (1) (2) 5V GPIO2 (3) (4) 5V GPIO3 (5) (6) GND GPIO4 (7) (8) GPIO14 GND (9) (10) GPIO15 GPIO17 (11) (12) GPIO18 GPIO27 (13) (14) GND GPIO22 (15) (16) GPIO23 3V3 (17) (18) GPIO24 GPIO10 (19) (20) GND GPIO9 (21) (22) GPIO25 GPIO11 (23) (24) GPIO8 GND (25) (26) GPIO7 ID_SD (27) (28) ID_SC GPIO5 (29) (30) GND GPIO6 (31) (32) GPIO12 GPIO13 (33) (34) GND GPIO19 (35) (36) GPIO16 GPIO26 (37) (38) GPIO20 GND (39) (40) GPIO21

Важливою є правильна робота з GPIO, оскільки помилки можуть призвести до пошкодження Raspberry Pi або підключених пристроїв.

Висновки. В роботі проаналізовані основні технології передачі даних для комутатора з підтримкою технологій GEPON і LTE. Проаналізовано переваги та недоліки кожної технології.

Визначено, як комутатор повинен працювати з різними типами мереж, вибрано основну платформу, допоміжну платформу для апаратного розширення, модеми для радіоінтерфейсів LTE і Wi-Fi і програмне забезпечення безпеки.

В результаті роботи отримано наступні основні результати – на основі аналізу предметної галузі, переваг і недоліків технологій передачі даних GEPON і LTE, а також місцевих мереж Ethernet та обґрунтовано напрями наукових досліджень; визначено методи та засоби взаємодії різних технологій передачі даних та вибір елементної бази для розробки комутатора; з обраних апаратних компонентів і програмного забезпечення був розроблений готовий прототип комутатора для резервованих каналів зв'язку GEPON і LTE.

Список бібліографічного опису

1. Charles E. Spurgeon, Joann Zimmerman Ethernet Switches: An Introduction to Network Design with Switches. US, 2013. 80.
 2. Ivan Kaminow, Tingye Li, Alan E. Willner Optical Fiber Telecommunications Volume VIB: Systems and Networks. UK, 2013. 1095.
 3. Mahmoud Elkhodr, Qusay F. Hassan, Seyed Shahrestani Networks of the Future: Architectures, Technologies, and Implementations. US, 2017. 512.
 4. Christopher Cox An introduction to LTE: LTE, LTE-advanced, SAE, and 4G mobile communications. US, 2012. 486.
- © Черняшук Н.Л., Матвійчук А.М., Остапук Д.В., Шелепіна О.В., Бондарчук В.Г.

5. Charles E. Spurgeon, Joann Zimmerman Ethernet: The Definitive Guide: Designing and Managing Local Area Networks. US, 2014. 508.
6. Massimo Tornatore, Gee-Kung Chang, Georgios Ellinas Fiber-Wireless Convergence in Next-Generation Communication Networks: Systems, Architectures, and Management. US, 2017. 406.
7. Cisco Networking Academy Connecting Networks v6 Companion Guide. US, 2017. 512.
8. TL-R480T+(UN)_V9_Datasheet. URL: [https://static.tp-link.com/2018/201809/20180917/TL-R480T\(UN\)9.0%20Datasheet.pdf](https://static.tp-link.com/2018/201809/20180917/TL-R480T(UN)9.0%20Datasheet.pdf) (дата звернення: 08.08.2023).
9. Joe Grant Raspberry Pi: A Comprehensive Beginner's Guide to Setup, Programming (Concepts and Techniques) and Developing Cool Raspberry Pi Projects. US, 2019. 172.
10. Raspbian. URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> (дата звернення: 21.09.2023).
11. OpenWrt Project Developer guide. URL: <https://openwrt.org/docs/guide-developer/start> (дата звернення: 23.09.2023).
12. John C. Shovic Raspberry Pi IoT Projects: Prototyping Experiments for Makers. US, 2016. 233.

References

1. Charles E. Spurgeon, Joann Zimmerman Ethernet Switches: An Introduction to Network Design with Switches. US, 2013. 80.
2. Ivan Kaminow, Tingye Li, Alan E. Willner Optical Fiber Telecommunications Volume VIB: Systems and Networks. UK, 2013. 1095.
3. Mahmoud Elkhodr, Qusay F. Hassan, Seyed Shahrestani Networks of the Future: Architectures, Technologies, and Implementations. US, 2017. 512.
4. Christopher Cox An introduction to LTE: LTE, LTE-advanced, SAE, and 4G mobile communications. US, 2012. 486.
5. Charles E. Spurgeon, Joann Zimmerman Ethernet: The Definitive Guide: Designing and Managing Local Area Networks. US, 2014. 508.
6. Massimo Tornatore, Gee-Kung Chang, Georgios Ellinas Fiber-Wireless Convergence in Next-Generation Communication Networks: Systems, Architectures, and Management. US, 2017. 406.
7. Cisco Networking Academy Connecting Networks v6 Companion Guide. US, 2017. 512.
8. TL-R480T+(UN)_V9_Datasheet. URL: [https://static.tp-link.com/2018/201809/20180917/TL-R480T\(UN\)9.0%20Datasheet.pdf](https://static.tp-link.com/2018/201809/20180917/TL-R480T(UN)9.0%20Datasheet.pdf) (access date: 08/08/2023).
9. Joe Grant Raspberry Pi: A Comprehensive Beginner's Guide to Setup, Programming (Concepts and Techniques) and Developing Cool Raspberry Pi Projects. US, 2019. 172.
10. Raspbian. URL: <https://www.raspberrypi.org/downloads/raspbian/> (date accessed: 09/21/2023).
11. OpenWrt Project Developer guide. URL: <https://openwrt.org/docs/guide-developer/start> (access date: 09/23/2023).
12. John C. Shovic Raspberry Pi IoT Projects: Prototyping Experiments for Makers. US, 2016. 233.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-38>

УДК 004.92

Черняшук Наталія Леонідівна, д.пед.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

Луцюк Артем Юрійович, магістрант

Семененко Андрій Борисович, магістрант

Міщенко Тарас Юрійович, магістрант

Ніколаєва Валентина Олександрівна, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ТОПОЛОГІЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ РОБОТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Черняшук Н.Л., Луцюк А.Ю., Семененко А.Б., Міщенко Т.Ю., Ніколаєва В.О. **Топологічна оптимізація комп'ютерних мереж роботизованих систем.** У роботі досліджено вплив структури на ефективність централізованих тривірневих комп'ютерних мереж робототехнічних систем. Проведено аналіз існуючих методів топологічної оптимізації мереж. Проведено модифікацію методу структурно-топологічної оптимізації комп'ютерних мереж роботизованих систем на основі k-means кластеризації; алгоритми та програмне забезпечення для розв'язування задач оптимізації комп'ютерних мереж модифікованим методом на основі кластеризації k-середніх та інтерактивним методом.

Ключові слова: комп'ютерна мережа, оптимізація, проектування, роботизована система, структура, топологія.

Chernyashchuk N., Lutsyuk A., Semenenko A., Mishchenko T., Nikolaeva V. **Topological optimization of computer networks of robotic systems.** The work examines the influence of structure on the efficiency of centralized three-level computer networks of robotic systems. An analysis of existing methods for topological optimization of networks was carried out. A modification of the method of structural-topological optimization of computer networks of robotic systems based on k-means clustering was carried out; algorithms and software for solving computer network optimization problems using a modified method based on k-means clustering and an interactive method.

Keywords: computer network, optimization, design, robotic system, structure, topology.

Постановка наукової проблеми. Аналіз методів оптимізації мереж роботизованих систем є важливим завданням для забезпечення найвищої ефективності. Ось деякі методи та підходи, які можуть бути використані для оптимізації мереж роботизованих систем:

Оптимізація починається з вибору правильної топології мережі. Для деяких застосувань, таких як системи реального часу, може бути доцільним використання топології типу "зірка", яка забезпечує низьку затримку та високу надійність. У інших випадках можуть бути вигідні більш складні топології, такі як "меш" або "кільце", які дозволяють побудувати більш масштабовану мережу. SDN дозволяє централізовано керувати мережею і розподіляти ресурси за потребою. Це дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність мережі та простіше налаштовувати мережеве обладнання. Віртуалізація дозволяє створити віртуальні мережі на базі одного апаратного обладнання. Це спрощує розгортання та масштабування мережі. Встановлення правильних параметрів QoS допомагає гарантувати надійність та якість обслуговування для різних типів трафіку, особливо в мережах, де присутні важливі реального часу додатки [1; 2].

Забезпечення безпеки мережі важливо, оскільки роботизовані системи можуть бути підвернуті різним видам кіберзагроз, включаючи атаки на доступ та атаки на дані. Використання захисних механізмів, таких як фаєрволи, інтрузійна детекція та інші, є критичним. Регулярний моніторинг мережі допомагає вчасно виявляти проблеми та оптимізувати її функціонування. Аналіз даних з мережі допомагає виявити шляхи для покращення її продуктивності. Для роботизованих систем важливо, щоб різні компоненти мережі могли взаємодіяти один з одним. Стандартизація і застосування відкритих стандартів допомагають забезпечити інтероперабельність.

Розвиток роботизованих систем може вимагати масштабування мережі. Правильне проектування та архітектура мережі повинні бути готові до зростання кількості пристроїв та об'єму трафіку. Ефективне використання ресурсів мережі і зменшення витрат є важливими аспектами оптимізації. Розробка та впровадження зелених технологій та методів для зменшення впливу мережі на навколишнє середовище також є актуальною темою для оптимізації мереж роботизованих систем.

Аналіз досліджень. Аналіз та впровадження цих методів допомагає покращити продуктивність та надійність мереж роботизованих систем, що є критичним для їх успішної роботи в різних сферах, включаючи виробництво, медицину, транспорт та багато інших.



Рис. 1. Модель «підкови» [7]

Мета роботи. Дослідження методів структурно-топологічної оптимізації комп'ютерних мереж роботизованих систем.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Аналіз методів оптимізації мереж роботизованих систем важливий для забезпечення їх надійності, швидкості та ефективності в різних сценаріях використання. Оптимізація мереж може охоплювати різні аспекти, включаючи структурну топологію, керування ресурсами, безпеку, масштабованість та інші. Методи та стратегії оптимізації мереж роботизованих систем:

Вибір оптимальної структурної топології мережі є важливим етапом оптимізації. Деякі системи можуть вимагати простої зіркової топології, тоді як інші можуть користуватися більш складними варіантами, такими як дерево, кільце або меш-мережі [3; 6].

Використання технологій автоматизації, таких як Software-Defined Networking (SDN) та Network Function Virtualization (NFV), дозволяє більш ефективно управляти ресурсами мережі та пристосовувати її до змінних вимог.

Оптимізація мережі може включати в себе балансування навантаження для рівномірного розподілу трафіку та забезпечення оптимальної використаності ресурсів мережі.

Системи моніторингу та аналізу трафіку допомагають виявляти проблеми та визначати, як можна покращити ефективність мережі. Це важливо для вчасного виявлення і реагування на проблеми мережі.

Важливим аспектом оптимізації мереж роботизованих систем є захист від кібератак та забезпечення конфіденційності даних. Це включає в себе використання шифрування, ідентифікації та автентифікації.

Мережі роботизованих систем повинні бути готові до зростання, якщо це необхідно. Оптимізація мереж повинна передбачати можливість легкого розширення мережі без великих зусиль.

З ростом зацікавленості в розробці та впровадженні інтернету речей (IoT) та мереж п'ятого покоління (5G), оптимізація мереж роботизованих систем може включати в себе використання цих передових технологій.

Важливо враховувати можливість сумісності мережі з різними типами обладнання та рішень, що використовуються в роботизованих системах.

Оптимізація мереж має включати в себе розгляд питань енергоефективності, особливо у випадку роботизованих систем, які можуть працювати в автономному режимі.

Збільшення обчислювальних можливостей та сховищ в хмарних ресурсах може бути важливим для покращення функціональності роботизованих систем. Тому інтеграція з хмарними ресурсами також може включати в себе оптимізацію мережі.

Аналіз і вибір методів оптимізації мереж роботизованих систем залежить від конкретних вимог і характеристик конкретної системи. Перед вибором певного методу важливо враховувати потреби, обмеження і мету оптимізації, а також тенденції в розвитку технологій та вимоги до безпеки.



Рис. 2. Алгоритм задачі структурного синтезу

Аналіз методів оптимізації мереж роботизованих систем є важливим завданням для забезпечення ефективної роботи та надійного зв'язку в таких системах. Оптимізація мереж може включати в себе різні аспекти, такі як масштабування, пропускна здатність, надійність, енергоефективність та безпеку. Ось деякі з методів і підходів до оптимізації мереж роботизованих систем:

Вибір правильної топології мережі є ключовим аспектом оптимізації. Різні види роботизованих систем можуть вимагати різних типів топологій, від зіркової до меш-мереж. Вибір відповідної топології може покращити ефективність мережі та забезпечити надійний зв'язок.

З ростом кількості роботизованих систем може збільшуватися навантаження на мережу. Важливо розробити мережу так, щоб вона була масштабованою і здатною обробляти зростаючий обсяг даних та пристроїв.

SDN дозволяє централізовано керувати мережею та динамічно налаштовувати її параметри. Це полегшує оптимізацію мережі шляхом зміни маршрутів, керування пропускною здатністю та розділенням трафіку.

У роботизованих системах може бути потреба в бездротовому зв'язку для мобільних пристроїв або об'єктів, які переміщуються. Вибір правильного бездротового стандарту і оптимізація його параметрів є важливими аспектами.

Кібербезпека є критично важливою для мереж роботизованих систем. Оптимізація повинна включати в себе заходи для захисту від несанкціонованого доступу, від атак та для забезпечення конфіденційності даних.

Мережі роботизованих систем можуть бути ресурсозберігаючими, особливо коли мова йде про енергоефективність. Оптимізація ресурсів може включати в себе вимкнення непотрібних пристроїв у режимі очікування та раціональне використання енергії.

Постійний моніторинг мережі та аналіз трафіку дозволяють вчасно виявляти проблеми та можливості для оптимізації.

Використання хмарних послуг може спростувати розгортання та керування мережами роботизованих систем та зменшувати витрати на інфраструктуру.

Аналіз і вибір методів оптимізації мереж роботизованих систем повинен враховувати конкретні вимоги та потреби цих систем, а також постійно змінюючийся технологічний ландшафт. Ретельне дослідження та оцінка методів є важливою частиною успішної оптимізації мереж роботизованих систем.

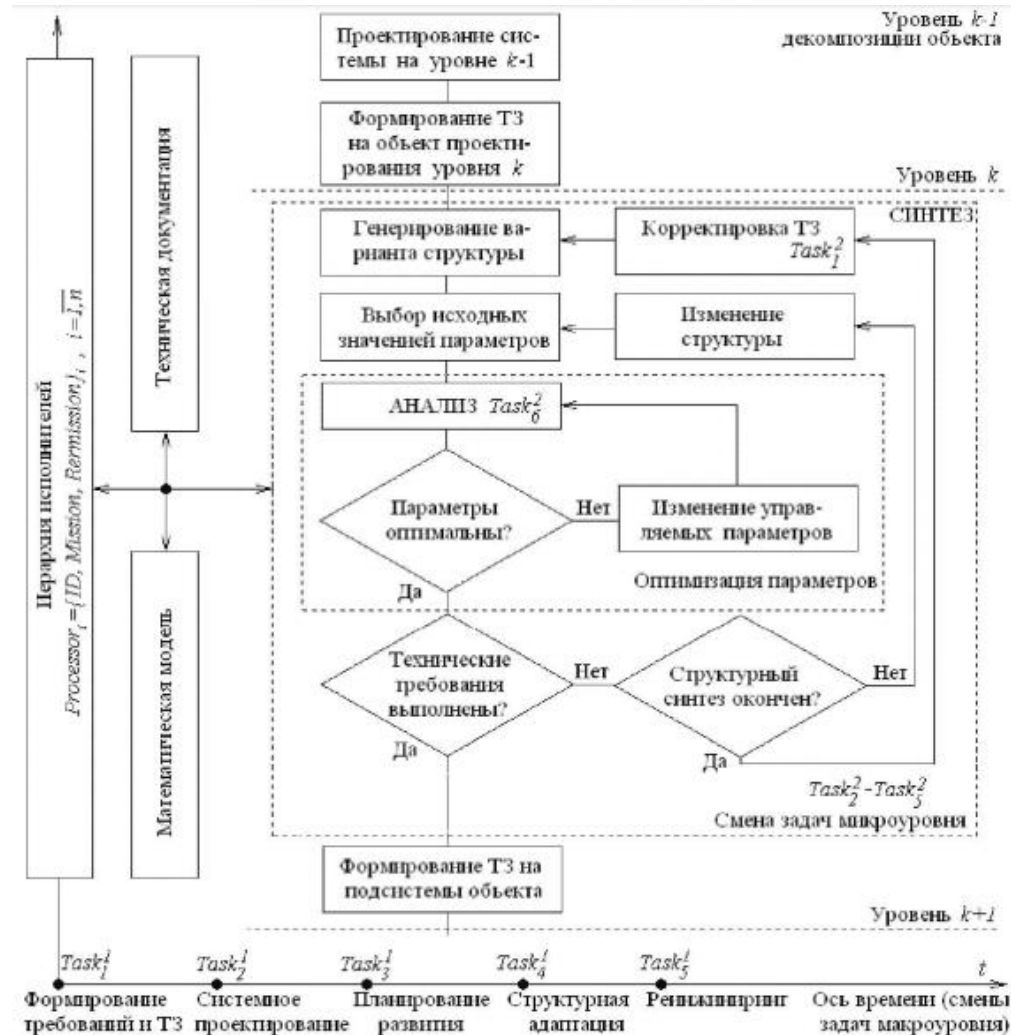


Рис. 3. Алгоритм структурного синтезу мережі

Аналіз методів оптимізації мереж роботизованих систем є важливою частиною розробки та управління інфраструктурою для роботизованих систем. Оптимізація мереж дозволяє підвищити надійність, продуктивність та безпеку таких систем. Ось деякі з популярних методів оптимізації мереж роботизованих систем:

Вибір оптимальної топології мережі є одним з перших і важливих кроків у процесі оптимізації. Топологія може бути зірковою, кільцевою, деревовидною або меш-мережею, і вибір залежить від потреб конкретної роботизованої системи.

Розробка мережі з урахуванням масштабованості дозволяє легко розширювати і розвивати мережу з ростом потреб системи. Використання сучасних технологій, таких як віртуалізація мережі, допомагає забезпечити масштабованість.

Оптимізація мережі включає в себе балансування навантаження між різними вузлами мережі. Це допомагає підвищити ефективність та уникнути перевантаження окремих частин мережі.

Вибір правильних технологій зв'язку, таких як провідний або бездротовий зв'язок, може вплинути на швидкість передачі даних, дальність та надійність мережі.

SDN (Software-Defined Networking) дозволяє програмно керувати мережевими обладнаннями, що полегшує керування та оптимізацію мережі.

Моніторинг і аналіз трафіку допомагають виявляти проблеми та можуть бути використані для вдосконалення мережі. Рішення для моніторингу, такі як системи збору журналів та аналізатори трафіку, можуть бути використані для цієї мети.

Роботизовані системи можуть включати в себе сенсори, актуатори та іншу бортову інфраструктуру. Оптимізація цієї інфраструктури включає в себе вибір правильних комунікаційних протоколів і мережевих рішень.

Оптимізація мережі повинна включати в себе також заходи забезпечення кібербезпеки, такі як захист від атак, шифрування даних та ідентифікація користувачів.

Використання рішень для автоматизації та оркестрації мережевих операцій допомагає покращити ефективність і скоротити час відгуку на події в мережі.

Врахування специфічних вимог роботизованих систем: Різні роботизовані системи можуть мати унікальні вимоги до мережі, такі як низька затримка, висока доступність або підтримка резервних маршрутів.

Аналіз та впровадження цих методів оптимізації мереж допомагають створити надійну та ефективну інфраструктуру для роботизованих систем, що відіграє важливу роль у підтримці їхнього нормального функціонування та розвитку.

Висновки. У ході аналізу комп'ютерних мереж у складі роботизованих систем встановлено, що комп'ютерні мережі можуть складатися з окремих комп'ютеризованих елементів (комп'ютерів, серверів, мережевих адаптерів тощо) і забезпечувати обмін файлами між робочими станціями, використання спільні ресурси та можливість зручного керування робототехнічними системами. елементів. Для вирішення задачі топологічної оптимізації виробництва розглянуто особливості мереж різних типів, а за базові обрано локальні централізовані мережі. У процесі аналізу існуючих топологій була обрана деревовидна топологія через її переваги, серед яких: легкість додавання нових вузлів; Простота управління; легко масштабувати; простота ідентифікації конкретного фрагмента мережі, а також можливість підключення до більшої мережі. Розглянуто методи побудови мережевої структури: покоординатна оптимізація, метод кластеризації k-means, метод Tabu Search. Проаналізувавши переваги та недоліки цих методів, було обрано метод кластеризації, оскільки він простий у використанні та має найкоротший час для розрахунку розміщення елементів мережі серед цих методів. Як доповнення був обраний інтерактивний метод побудови топологічної структури мережі, що дозволяє користувачеві самостійно проектувати топологію мережі та визначати ціну мережі за допомогою різного обладнання.

Список бібліографічного опису

1. Навчальні матеріали онлайн Операційний менеджмент Особливості створення та експлуатації гнучких виробничих систем URL: https://pidruchniki.com/1830050353518/menedzhment/osoblivosti_stvorenniya_ekspluatatsiyi_gnuchkih_virobnichih_sistem (дата звернення: 01.12.2019).
2. Лисенко О. І., Тачиніна О. М. Робототехнічні системи та комплекси: навч. посіб. Київ : Національний Авіаційний Університет, 2018. 6 с.
3. Новиков Ю. В., Кондратенко С. В. Основи локальних мереж. курс лекцій. М. : Інтернет-університет інформаційних технологій, 2005.
4. Гордєєв О. О., Гордєєва Д. В., Колдовський М. В. Комп'ютерні Мережі : навч. посіб. Суми : Українська Академія Банківської Справи Національного Банку України, 2010. 26 с.
5. Одеська національна академія пищевих технологій Комп'ютерні системи Топології комп'ютерних систем Топологія типу «Дерево» URL: <https://studfile.net/preview/5152835/page:6/> (дата звернення: 01.12.2019).
6. Хаммер М., Чампи Д. Реінжиніринг корпорации: манифест революции в бизнесе СПб.: Издательство С. Петербургского университета, 1997. 332 с.
7. Ахтырченко К. В., Сорокваша Т. П. Методы и технологии реинжиниринга ИС // Труды Института системного программирования. 2003. № 4. С. 116-128.
8. Бескоровайный В. В., Соболева Е. В. Композиционная модель динамической распределенной задачи структурного синтеза территориально распределенных объектов // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ": сб. науч. тр. Темат. вып.: Системный анализ, управление и информационные технологии. Харьков: НТУ "ХПИ". 2013. № 2 (976). С. 60-76.
9. Бескоровайный В. В., Подоляка К. Е. Модификации метода направленного перебора для реинжиниринга топологических структур систем крупномасштабного мониторинга // Радиоэлектроника и информатика. 2015. № 3. С. 55-61.
10. Скаков Е. С. Малыш В. Н. Использование алгоритмов мултистарта и поиска с запретами для решения задачи размещения базовых станций // Информационные Каналы И Среды. Липецкий государственный педагогический университет. 2015 №1. С. 99-106.
11. Краковецкий О. Habr: Меры расстояний Кластеризация: алгоритмы k-means и c-means Алгоритм k-means (к-средних) стаття 14 августа 2009 в 14:23 URL:<https://habr.com/ru/post/67078/> (дата звернення: 03.12.2019).

12. 6.5.1. Метод покоординатной оптимизации (Гаусса-Зейделя) Основы теории случайных процессов (4 семестр) Московский государственный университет приборостроения и информатики 09.04.2015 URL:<https://studfile.net/preview/2873720/page:33/> (дата звернення: 04.12.2019)
13. Костюкова Н.И. Графы и их применение. Комбинаторные алгоритмы для программистов // Лаборатория знаний. Интернет университет информационных технологий. 2007. 312 с.
14. Алексеев С. В., Мартовицкий В. О. Аналіз методів розв'язку задачі складання розкладу занять // Системи обробки інформації. 2014. Вип. 2 (118). С. 84-88.
15. Ларичев О. И., Петровский А. В. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития. // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. Т.21. М.: ВИНТИ. 1987. С. 131-164.
16. Нестеренко С., Биньковский А. Методика реинжиниринга сетей масштаба предприятия // Труды Одесского политехнического университета. 2007. № 2(28). С. 95-99.
17. Нестеренко С.А. Выбор оптимального плана энергоэффективного реинжиниринга корпоративной компьютерной сети // Електротехнічні та комп'ютерні системи. 2017. № 25 (101). С. 341-346.

References

1. Educational materials online Operational management Peculiarities of creation and operation of flexible production systems URL: https://pidruchniki.com/1830050353518/menedzhment/osoblivosti_stvorenniya_ekspluatatsiyi_gnuchkih_virobnichih_sistem (access date: 01.12.2019).
2. Lysenko O. I., Tachynina O. M. Robotic systems and complexes: training. manual Kyiv: National Aviation University, 2018. 6 p.
3. Novikov Yu. V., Kondratenko S. V. Fundamentals of local networks. course of lectures. M.: Internet University of Information Technologies, 2005.
4. Gordeev O.O., Gordeeva D.V., Koldovskyi M.V. Computer Networks: education. manual Sumy: Ukrainian Academy of Banking Affairs of the National Bank of Ukraine, 2010. 26 p.
5. Odessa national academy of food technology Computer systems Topologies of computer systems Topology of the "Tree" type URL: <https://studfile.net/preview/5152835/page:6/> (access date: 01.12.2019).
6. Hammer M., Champy D. Corporation reengineering: a manifesto of a revolution in business. St. Petersburg: Publishing House of S. Petersburg University, 1997. 332 p.
7. Akhtyrchenko K. V., Sorokvasha T. P. Methods and technologies of IS re-engineering // Proceedings of the Institute of System Programming. 2003. No. 4. P. 116-128.
8. Beskorovainy V.V., Soboleva E.V. Compositional model of the dynamic distributed task of structural synthesis of territorially distributed objects // Vestnik Nats. technical "Khpy" University: Sat. science tr. Subject. issue: System analysis, management and information technologies. Kharkiv: NTU "Khpy". 2013. No. 2 (976). P. 60-76.
9. Beskorovainy V.V., Podolyaka K.E. Modifications of the directed search method for reengineering topological structures of large-scale monitoring systems // Radioelectronics and computer science. 2015. No. 3. P. 55-61.
10. Skakov E. S. Malysh V. N. The use of multistart and search algorithms with restrictions to solve the task of locating base stations // Information Channels and Media. Lipetsk State Pedagogical University. 2015 #1. P. 99-106.
11. Krakovetsky O. Habr: Distance measures Clustering: k-means and c-means algorithms k-means (k-means) algorithm article August 14, 2009 at 2:23 pm URL:<https://habr.com/ru/post/67078/> (date of application: 03.12.2019).
12. 6.5.1. Method of coordinate optimization (Gauss-Seidel) Fundamentals of the theory of random processes (4th semester) Moscow State University of Instrumentation and Informatics 04/09/2015 URL:<https://studfile.net/preview/2873720/page:33/> (access date: 04/12/2019)
13. Kostyukova N.I. Graphs and their application. Combinatorial algorithms for programmers // Laboratoriya znanny. Internet University of Information Technologies. 2007. 312 p.
14. Alekseev S. V., Martovytskyi V. O. Analysis of methods for solving the task of creating a class schedule // Information processing systems. 2014. Issue 2 (118). С. 84-88.
15. O. I. Larychev, A. V. Petrovsky, Decision support systems. The current state and prospects of their development. // Results of science and technology. Ser. Technical cybernetics. T.21. M.: BLAME. 1987. P. 131-164.
16. Nesterenko S., Bynkovsky A. The method of reengineering of enterprise-scale networks // Proceedings of the Odessa Polytechnic University. 2007. No. 2(28). P. 95-99.
17. Nesterenko S.A. Choosing the optimal plan for energy-efficient reengineering of a corporate computer network // Electrotechnical and computer systems. 2017. No. 25 (101). С. 341-346.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-39>

УДК 004.92

Черняшук Наталія Леонідівна, д.пед.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-3178-8377>

Семенюк Владислав Олегович, магістрант

Схабовський Максим Вадимович, магістрант

Токар Олександр Володимирович, магістрант

Оверчук Назар Богданович, магістрант

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

РОЗПАРАЛЕЛЕННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Черняшук Н.Л., Семенюк В.О., Схабовський М.В., Токар О.В., Оверчук Н.Б. Розпаралелення згорткових нейронних мереж на основі графічних процесорів. В роботі класифіковано та досліджено розпаралелення алгоритмів навчання нейронних мереж із використанням технологій, що дозволяють використовувати графічні процесори для опрацювання великої кількості вхідних даних. Пришвидження процесу аналізу біомедичних зображень згортковими нейронними мережами дозволяє в короткі терміни діагностувати будь-які відхилення у здоров'ї людини. Це дає можливість виявляти захворювання на ранніх стадіях та проводити лікування для запобігання їх поширення.

Ключові слова: згорткові нейронні мережі, графічний процесор, машинне навчання, штучний інтелект.

Chernyaschuk N., Semenyuk V., Shabovskiy M., Tokar O., Overchuk N. Parallelization of convolutional neural networks based on graphics processors. The paper classified and investigated the parallelization of learning algorithms of neural networks using technologies that allow the use of graphics processors to process a large amount of input data. Acceleration of the process of analysis of biomedical images by convolutional neural networks makes it possible to diagnose any deviations in human health in a short period of time. This makes it possible to detect diseases in the early stages and carry out treatment to prevent their spread.

Keywords: convolutional neural networks, graphics processor, machine learning, artificial intelligence.

Постановка наукової проблеми. Загальні особливості функціонування згорткових нейронних мереж.

Нейронні мережі мають спеціальні шари, відомі як згорткові шари. Ці шари використовують фільтри для виявлення певних ознак у вхідних даних. Фільтри допомагають вилучити просторові особливості, такі як границі, форми та текстури, що є важливим для розпізнавання об'єктів на зображеннях. Після згорткового шару часто слідує підсумковий шар (пулінг), який використовується для зменшення просторового розміру репрезентації та зменшення кількості параметрів. Популярні методи пулінгу включають максимальне пулінг, де вибирається найбільше значення у певному регіоні, або середнє пулінг, де обчислюється середнє значення. Після кількох згорткових і підсумкових шарів можуть слідувати повні з'єднані шари, які використовуються для класифікації об'єктів на основі вивчених ознак. До кожного згорткового шару та повного з'єданого шару застосовується функція активації, така як ReLU (Rectified Linear Unit), для введення нелінійності та вдосконалення можливостей моделі у вивченні складних залежностей. Ваги моделі оптимізуються під час процесу навчання, щоб мережа вивчала розпізнавати певні шаблони та ознаки у вхідних даних. Ці особливості роблять згорткові нейронні мережі ефективними для обробки зображень і допомагають у вирішенні завдань, таких як розпізнавання облич, класифікація об'єктів та сегментація зображень.

Аналіз досліджень. GNM містить один або кілька згорткових шарів, які об'єднані або повністю з'єднані, і використовує варіації багатoshарових перцептронів. Згорткові шари використовують операцію згортки на вході та передають результат до наступного шару. 1 зображено типову структуру ЗНМ.

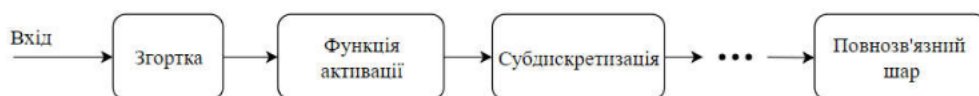


Рис. 1. Структура ЗНМ

Convolutional Neural Networks (CNNs) або загорткові нейронні мережі - це тип нейронних мереж, спеціально призначених для обробки структурованих сіток даних, таких як зображення. Ось деякі основні особливості їх функціонування:

Загорткові шари (Convolutional Layers). Основна ідея полягає в тому, щоб використовувати загорткові шари для локальної обробки вхідних даних, здійснюючи зсув і згортку (зменшення розміру) зображення, щоб виявити певні функції, такі як краї та текстури.

Пулінгові шари (Pooling Layers). Ці шари використовуються для зменшення розмірів зображення та виділення його важливих ознак. Зазвичай використовують максимальне або середнє знаходження значень у певному регіоні.

Повноз'язані шари (Fully Connected Layers). Після декількох загорткових та пулінгових шарів використовуються повноз'язані шари для класифікації або регресії. Вони об'єднують інформацію з попередніх шарів для прийняття рішення.

Функції активації та нормалізація. Застосування функцій активації (наприклад, ReLU) і методів нормалізації (наприклад, batch normalization) допомагає збільшити ефективність та стійкість мережі.

Застосування до комп'ютерного зору. CNN широко використовується для завдань комп'ютерного зору, таких як класифікація зображень, визначення об'єктів та розпізнавання обличчя.

Ці характеристики роблять CNN дуже ефективними для обробки великих об'ємів зображень та виконання завдань, пов'язаних з комп'ютерним зором.

На рисунку 2 наведена послідовність кроків при класифікації зображень за допомогою ЗНМ.



Рис. 2. Алгоритм використання ЗНМ

На рисунку 3 показано відмінність гістологічного зображення від цитологічного. Гістологічне зображення складніше цитологічного за будовою, менш якісне та чітке.

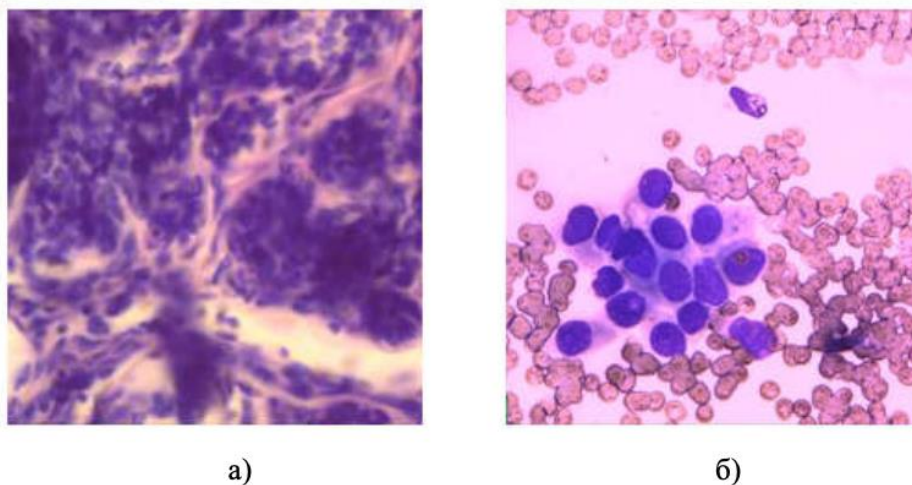


Рис. 3. Фото:

а) гістологічні; б) цитологічні

Мета роботи. Метою даної роботи є аналіз алгоритмів навчання нейронних мереж та їхня паралелізація для виявлення найбільш ефективних способів реалізації на практиці, швидких і якісних програм для обробки великого обсягу інформації.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.
Гістологічне дослідження – це метод детального дослідження організму людини з метою виявлення патологічного процесу на тканинному рівні. Цитологія – це наука, яка вивчає клітини, їх будову, функціонування, процеси розмноження, старіння та смерті [8].

Паралелізація є важливим аспектом оптимізації та прискорення роботи штучних нейронних мереж (ШНМ), особливо з урахуванням зростання розміру та складності моделей. Існує кілька методів паралелізації для штучних нейронних мереж:

Методи паралелізації даних (Data Parallelism). У цьому підході дані розбиваються на частини, і кожен обчислювальний пристрій (процесор чи GPU) обробляє свій фрагмент даних. Цей метод особливо ефективний для тренування глибоких нейронних мереж.

Методи паралелізації моделі (Model Parallelism). В цьому випадку сама модель розбивається на частини, і кожна частина обробляється окремим обчислювальним пристроєм. Цей метод корисний у випадках, коли модель занадто велика для одного пристрою.

Мікро- та макро-паралелізація. Мікропаралелізація використовується для розпаралелювання обчислень на рівні конкретних операцій, таких як перемноження матриць. Макропаралелізація, навпаки, включає розпаралелювання всієї моделі або її підсистем.

Розподілене навчання (Distributed Training). У цьому методі нейронні мережі навчаються на різних пристроях чи вузлах великих обчислювальних кластерів. Це може включати в себе як паралельне навчання моделі (model parallelism), так і паралелізацію даних (data parallelism).

Асинхронна паралелізація. Цей підхід передбачає виконання обчислень на пристроях асинхронно, тобто без чіткого синхронізованого обміну інформацією між пристроями під час тренування. Це може зменшити час очікування і збільшити швидкість навчання.

Розпаралелювання на рівні операцій (Operation-level Parallelism). Розпаралелювання може бути досягнуте на рівні окремих операцій у межах нейронної мережі, наприклад, використовуючи оптимізовані бібліотеки для виконання операцій паралельно на різних пристроях.

Ці методи можна комбінувати для досягнення оптимальної швидкодії та ефективності при навчанні та використанні штучних нейронних мереж. Використовуючи метод паралельної обробки під час фази навчання штучних нейронних мереж, можна досліджувати різні конфігурації мережі одночасно [9]. Таким чином, на рисунку 4 показано паралелізм тренувального сеансу, де різниця між фазами навчання представлена швидкістю навчання.

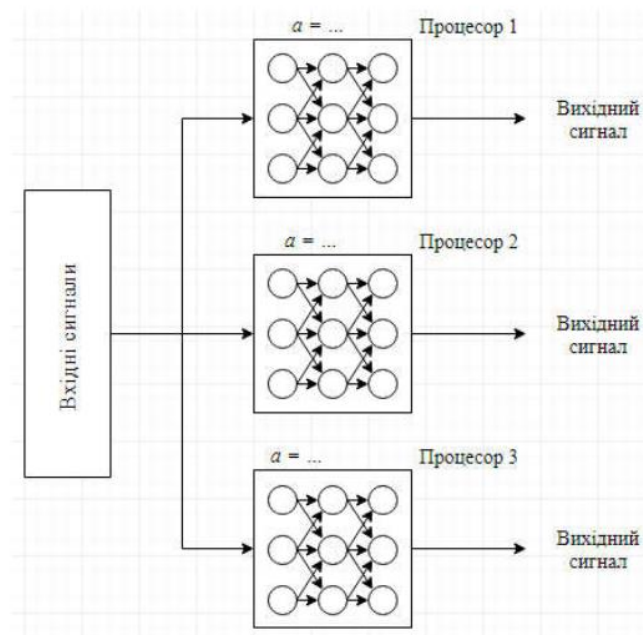


Рис. 4. Алгоритм фази навчання

При використанні розпаралелювання на рівні навчання вибірки навчаються одночасно на кількох різних навчальних вибірках. Це важливо, тому що часто вирішення великої задачі вимагає досить великої кількості векторів навчання в штучній нейронній мережі [11].

На рисунку 5 показана схема розпаралелювання навчальної множини.

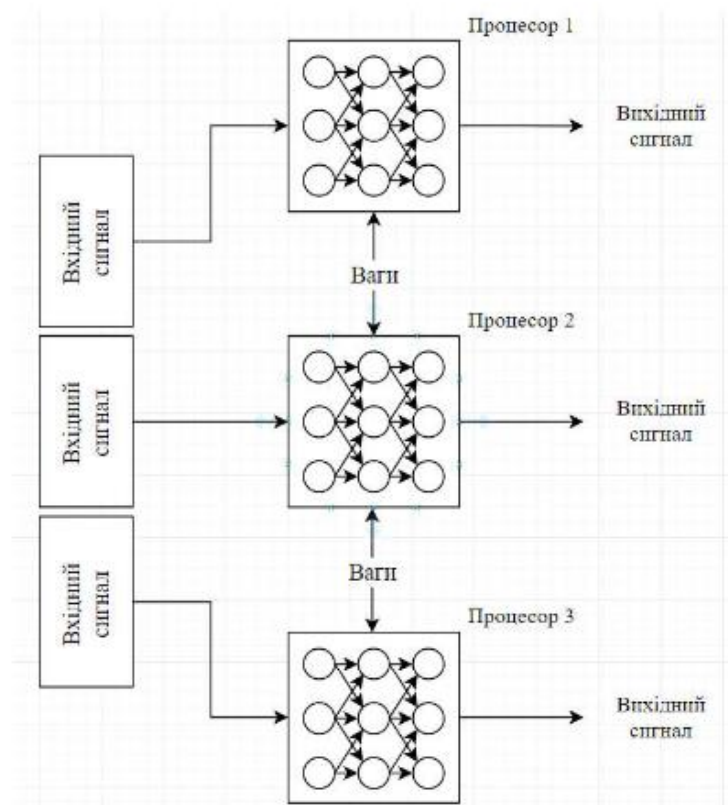


Рис. 5. Алгоритм навчальної вибірки

Це дозволяє перенести операцію на інший процесор. Той самий принцип можна використовувати в моделях, які не мають шарів штучних нейронних мереж, але вектори також проходять через процесори, як конвеєр. За еталон беруться найточніші вектори, що пройшли всі процесори. Коли вони знову проходять через мережеві процесори, процесори оновлюють шкали відповідно до цих стандартів. На рисунку 6 показана ця робоча схема.

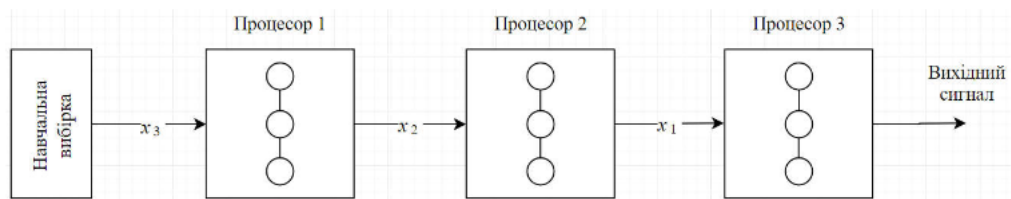


Рис. 6. Алгоритм паралелізації

При використанні методу розпаралелювання на рівні нейронів нейрон схожий за функціями на процесор, оскільки він також є елементом обробки. Паралельна обробка як процес на цьому рівні розділяє нейрони в межах одного рівня між процесорами, а також у паралельних обчисленнях. У цій системі обробки кожному процесору присвоюється нейрон або номер. Кожна з моделей штучної нейронної мережі має таку модель розпаралелювання і є одним із найпопулярніших методів. Схема роботи цього методу показана на малюнку 7.

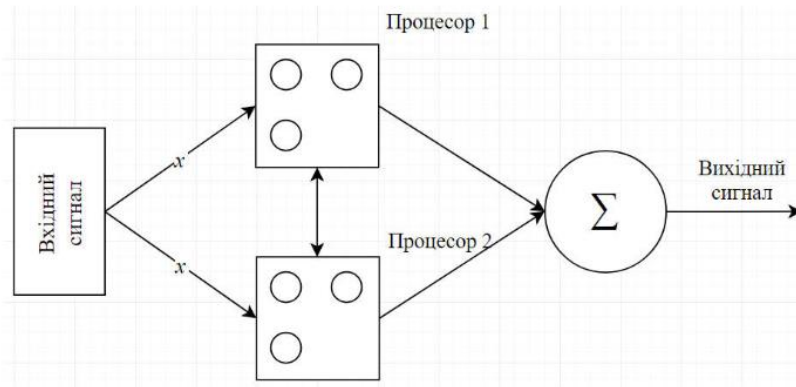


Рис. 7. Алгоритм розпаралелення [3]

Методом розпаралелювання є розпаралелювання на ваги. Схема типу розпаралелювання показана на рисунку 8.

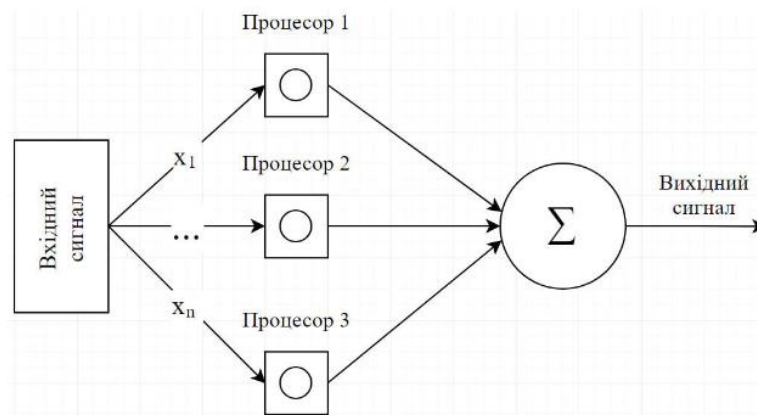


Рис. 8. Алгоритм розпаралелювання вагового рівня

Рівень вагових коефіцієнтів у методі розпаралелювання дрібнозернистий. Цей метод найчастіше використовується в апаратних реалізаціях. У цьому методі обчислення в межах одного нейрона розподіляються між кількома процесорами.

Щоб визначити ступінь успішності використання наведених методів розпаралелювання, потрібно створити систему відповідних характеристик.

Висновки. У роботі вирішується актуальна проблема розпаралелювання алгоритмів навчання згорткових нейронних мереж на базі GPU. Отримано наступні результати, проаналізовано методи розпаралелювання штучних нейронних мереж, переваги та недоліки використання кожного з них; досліджено сучасні технології та засоби розпаралелювання, в тому числі ті, що підтримують роботу з графічними процесорами, а саме: CUDA, OpenMP; проаналізовано алгоритми навчання згорткових нейронних мереж та їх порівняльну продуктивність при обробці великої кількості даних; розроблено схеми функціонування програмно-програмного засобу для паралельного навчання нейронних мереж за алгоритмом зворотного поширення з можливістю завдання користувачем основних параметрів роботи мережі; Було проведено ряд тестів, щоб підтвердити ефективність використання GPU для обробки великих обсягів даних за допомогою нейронних мереж.

Таким чином, використання графічних процесорів при роботі з нейронними мережами дозволяє отримати бажаний результат у багато разів швидше, ніж при використанні центральних процесорів.

Список бібліографічного опису

1. What is artificial neural network (ANN)? [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/neural-network>.
2. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга / Ф. Розенблатт. – М.: Мир, 1965. – 175с.
3. Minsky M. L. Perceptrons / Minsky M. L. Papert S. A. – Cambridge, MA: MIT Press, 1969.

4. Werbos, P.J. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/35657389>
5. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Rumelhart, D.E; McClelland, James / Cambridge: MIT Press. ISBN 978-0- 262-63110-5, 1986 – 567c.
6. What is big data? [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: <https://searchdatamanagement.techtarget.com/definition/big-data>
7. How Does the Brain Work? [Електронний ресурс] / Sandra Blakeslee // The New York Times – Nov. 11, 2003 – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nytimes.com/2003/11/11/science/how-does-the-brain-work.html>.
8. Artificial Neural Network (ANN) in Machine Learning [Електронний ресурс] / –Режим доступу до ресурсу: <https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/artificial-neural-network-ann-in-machine-learning>.
9. Yoon Kim Convolutional Neural Networks for Sentence Classification // Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP) – Doha, Qatar. – October 25-29, 2014. – P. 1746 – 1751.
10. Xiang Zhang Text Understanding from Scratch / Xiang Zhang, Yann LeCun // Computer Science Department, Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University – New York, USA. – Apr 4, 2016.
11. Wen-tau Yih Semantic Parsing via Staged Query Graph Generation: Question Answering with Knowledge Base / Wen-tau Yih, Ming-Wei Chang, Xiaodong He, Jianfeng Gao // Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing – Beijing, China. – July 26-31, 2015. – P. 1321 – 1331.
12. Dasha Bogdanova Detecting Semantically Equivalent Questions in Online User Forums / Dasha Bogdanova, C´icero dos Santos, Luciano Barbosa† and Bianca Zadrozny // Proceedings of the 19th Conference on Computational Language Learning – Beijing, China. – July 30-31, 2015. – P. 123 – 131.
13. Ossama Abdel-Hamid Convolutional Neural Networks for Speech Recognition / Ossama Abdel-Hamid, Abdel-rahman Mohamed, Hui Jiang, Li Deng, Gerald Penn, and Dong Yu // IEEE/ACM Transactions On Audio, Speech, And Language Processing, VOL. 22, No 10 – October 2014. – P. 1533 – 1545.
14. Recursive neural network [Електронний ресурс] / –Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Recursive_neural_network.
15. Natural Language Generation, Paraphrasing and Summarization of User Reviews with Recurrent Neural Networks [Електронний ресурс] / –Режим доступу до ресурсу: <http://www.meanotek.ru/files/TarasovDS292015-Dialogue.pdf>.
16. Siwei Lai Recurrent Convolutional Neural Networks for Text Classification / Siwei Lai, Liheng Xu, Kang Liu, Jun Zhao // Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence – China. – 2015. – P.2267– 2273.

References

1. What is artificial neural network (ANN)? [Electronic resource] / – Resource access mode: <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/neural-network>.
2. Rosenblatt F. Principles of neurodynamics. Perieptrons and the theory of brain mechanisms / F. Rosenblatt. - M.: Mir, 1965. - 175p.
3. Minsky M. L. Perceptrons / Minsky M. L. Papert S. A. - Cambridge, MA: MIT Press, 1969.
4. Werbos, P.J. Beyond Regression: New Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Sciences [Electronic resource] / - Resource access mode: <https://www.researchgate.net/publication/35657389>
5. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. Rumelhart, D.E; McClelland, James / Cambridge: MIT Press. ISBN 978-0-262-63110-5, 1986 – 567c.
6. What is big data? [Electronic resource] / – Resource access mode: <https://searchdatamanagement.techtarget.com/definition/big-data>
7. How Does the Brain Work? [Electronic resource] / Sandra Blakeslee // The New York Times – Nov. 11, 2003 - Access mode: <https://www.nytimes.com/2003/11/11/science/how-does-the-brain-work.html>.
8. Artificial Neural Network (ANN) in Machine Learning [Electronic resource] / –Resource access mode: <https://www.datasciencecentral.com/profiles/blogs/artificial-neural-network-ann-in-machine-learning>.
9. Yoon Kim Convolutional Neural Networks for Sentence Classification // Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP) - Doha, Qatar. – October 25-29, 2014. – P. 1746 – 1751.
10. Xiang Zhang Text Understanding from Scratch / Xiang Zhang, Yann LeCun // Computer Science Department, Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University - New York, USA. – Apr 4, 2016.
11. Wen-tau Yih Semantic Parsing via Staged Query Graph Generation: Question Answering with Knowledge Base / Wen-tau Yih, Ming-Wei Chang, Xiaodong He, Jianfeng Gao // Proceedings of the 53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing - Beijing, China. – July 26-31, 2015. – P. 1321 – 1331.
12. Dasha Bogdanova Detecting Semantically Equivalent Questions in Online User Forums / Dasha Bogdanova, C´icero dos Santos, Luciano Barbosa† and Bianca Zadrozny // Proceedings of the 19th Conference on Computational Language Learning – Beijing, China. – July 30-31, 2015. – P. 123 – 131.
13. Ossama Abdel-Hamid Convolutional Neural Networks for Speech Recognition / Ossama Abdel-Hamid, Abdel-rahman Mohamed, Hui Jiang, Li Deng, Gerald Penn, and Dong Yu // IEEE/ACM Transactions On Audio, Speech, And Language Processing, VOL. 22, No. 10 – October 2014. – P. 1533 – 1545.
14. Recursive neural network [Electronic resource] / –Resource access mode: https://en.wikipedia.org/wiki/Recursive_neural_network.
15. Natural Language Generation, Paraphrasing and Summarization of User Reviews with Recurrent Neural Networks [Electronic resource] / –Resource access mode: <http://www.meanotek.ru/files/TarasovDS292015-Dialogue.pdf>.
16. Siwei Lai Recurrent Convolutional Neural Networks for Text Classification / Siwei Lai, Liheng Xu, Kang Liu, Jun Zhao // Proceedings of the Twenty-Ninth AAAI Conference on Artificial Intelligence - China. – 2015. – P.2267– 2273.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-40>

УДК 621.396:004.89

Беляков Роберт Олегович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9882-3088>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

ПРОБЛЕМА ІНТЕГРАЦІЇ ПОВІТРЯНОЇ МЕРЕЖІ КЛАСУ FANET В МОБІЛЬНУ КОМУНІКАЦІЙНУ МЕРЕЖУ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Беляков Р. О. Проблема інтеграції повітряної мережі класу FANET в мобільну комунікаційну мережу спеціального призначення. Проведено аналіз процесу узгодженого управління наземно-повітряних мереж двох класів – MANET і FANET, що з точки зору управління є складним багатопараметричним оптимізаційним завданням із великою кількістю обмежень.

У статті здійснено формалізований опис моделі наземно-повітряної комунікаційної мережі, визначено параметри вузлів: фізичні та комунікаційні, параметри мережі, сформовано математичну модель системної цільової функції управління з урахуванням ресурсних обмежень.

Визначено, що система управління наземно-повітряною комунікаційною мережею складається із таких основних підсистем управління: топологією, маршрутизацією, навантаженням, переміщенням/польотом (позиціонування), радіоресурсом, безпекою, забезпечення якості інформаційного обміну QoS; та підсистем, що забезпечують процес координації і реалізації цільових функцій в заданих умовах: підсистема контролю, збору, обробки, зберігання даних, підсистема реалізації рішень, підсистема навчання. Визначено, що синтез методів, методик та моделей управління НІМ, які, при використанні їх у складі функціональних підсистем управління, повинні відповідати вимогам: оптимізація параметрів функціонування мобільних вузлів, маршруту, напряму, ψ – ої мережі, НІМ в цілому на різних рівнях моделі OSI; прийняття рішень в реальному часі; мінімальне завантаження мережі службовою інформацією; мінімізація використання вузлових (обчислювальних, енергетичних та ін.) та мережевих ресурсів в тому числі шляхом забезпечення адаптивного і розподіленого функціонування НІМ з можливістю самоорганізації вузлів; здійснення користувальницької мережевої оптимізації з урахуванням QoS.

У статті розглянуті основні підходи, методи (протоколи) фізичного, каналного, мережевого, транспортного, прикладного рівня моделі OSI побудови повітряних мереж класу FANET для їх інтеграції в наземну мобільну комунікаційну мережу з урахуванням особливостей – динамічної топології та ресурсних обмежень, та визначено, що завдання синтезу наземно-повітряних комунікаційних мереж вимагає розробки нових та удосконалення існуючих підходів (методів, методик, алгоритмів) для формування управлінських рішень.

Ключові слова: наземно-повітряна комунікаційна мережа, MANET, FANET, система управління, мобільний користувач, комунікаційна аероплатформа, цільові функції, фізичні параметри, комунікаційні параметри, управлінські рішення, протоколи, рівні OSI, оптимізація, прогнозування.

Bieliakov R. The problem of integrating the FANET class air network into a special purpose mobile communication network. The analysis of the process of coordinated management of land-air networks of two classes - MANET and FANET - is carried out, which from the point of view of management is a complex multi-parameter optimization task with a large number of limitations.

In the article, a formalized description of the land-air communication network model was made, node parameters were defined: physical and communication, network parameters, and a mathematical model of the system target control function was formed, taking into account resource limitations.

It was determined that the land-air communication network management system consists of the following main control subsystems: topology, routing, load, movement/flight (positioning), radio resource, security, QoS quality assurance of information exchange; and subsystems that ensure the process of coordination and implementation of target functions in the given conditions: subsystem of control, collection, processing, storage of data, subsystem of decision implementation, subsystem of training. It was determined that the synthesis of methods, techniques and models of LaAN management, which, when used as part of functional control subsystems, must meet the requirements: optimization of parameters of the functioning of mobile nodes, route, direction, ψ – th network, LaAN as a whole at different levels of the model OSI; decision-making in real time; minimal loading of the network with service information; minimization of the use of nodal (computing, energy, etc.) and network resources, including by ensuring adaptive and distributed functioning of LaAN with the possibility of self-organization of nodes; implementation of user network optimization taking into account QoS.

The article considers the main approaches, methods (protocols) of the physical, channel, network, transport, and application level of the OSI model of building FANET-class aerial networks for their integration into the terrestrial mobile communication network, taking into account the peculiarities of dynamic topology and resource limitations, and it is determined that the task synthesis of land-air communication networks requires the development of new and improvement of existing approaches (methods, techniques, algorithms) for the formation of management decisions.

Key words: land-air communication network, MANET, FANET, control system, mobile user, communication aerial platform, objective functions, physical parameters, communication parameters, management solutions, protocols, OSI levels, optimization, prediction.

Постановка наукового завдання. Під час побудови сучасних комунікаційних мереж спеціального призначення розробники стикаються із множиною задач із узгодження

функціонування різнотипних засобів та координації управляючих рішень для досягнення якості інформаційного обміну необхідного рівня. Однією із головних вимог щодо проектування комунікаційних мереж спеціального призначення є забезпечення функціонування в умовах динамічного руху мобільних користувачів, коли побудована завчасно топологія мережі постійно змінюється.

Застосування технологій Software Defined Radio в мережах класу Mobile Ad-Hoc Network (MANET) (рис. 1) з одного боку забезпечує високий рівень «гнучкості» з точки зору адаптованості мереж до функціонування в різних умовах, але накладає обмеження щодо складності формування управляючих рішень, з метою виконання часто суперечливих цільових функцій [1, 2], з іншого.

Для вирішення завдань із управління мобільними комунікаційними мережами на часі знайшли своє використання комунікаційні аероплатформи (КА) виконані на безпілотних літальних апаратах (БПЛА) різних типів, що у випадку організації у групи можуть утворювати повітряні комунікаційні мережі Flying Ad-Hoc Networks (FANET), побудова яких концептуально дуже схожа на мережі класу MANET. Однак, на практиці такі мережі успішно застосовуються для завдань моніторингу визначених зон, площ, ділянок проведення спеціальних пошуково-рятувальних робіт [3], обстеження стану злітно-посадкових смуг, 3D картографування [4], збору інформації з вузлів безпроводової сенсорної мережі [5] тощо. Застосування КА для ретрансляції повідомлень мобільних користувачів наземної мережі класу MANET має фрагментарний характер із обмеженою кількістю таких КА. Узгоджене застосування мереж двох класів – MANET і FANET з точки зору управління є складним багатопараметричним оптимізаційним завданням із великою кількістю обмежень.



Рис.1. Варіант застосування Software Defined Radio в мережах класу MANET [1]

Таким чином, **актуальним** є завдання визначення функціональних залежностей процесів інформаційного обміну заданої якості наземно-повітряної комунікаційної мережі спеціального (військового призначення).

Метою статті є дослідження особливостей функціонування повітряних комунікаційних мереж спеціального призначення з використанням протоколів та методів за рівнями моделі OSI для синтезу наземно-повітряних мереж спеціального призначення.

Об'єктом дослідження є процеси переміщення та інформаційного обміну в наземно-повітряних комунікаційних мережах спеціального. Відповідно, **предметом дослідження** є модель управління наземно-повітряною мережею та OSI-модель взаємодії комунікаційних аероплатформ повітряної мережі військового призначення.

Основними завданнями статті є наступні:

1. Формалізація процесу управління НПМ.
2. Аналіз задач підсистем управління НПМ з урахуванням особливостей функціонування комунікаційних аероплатформ мережі FANET.
3. Аналіз особливостей функціонування повітряних мереж за рівнями моделі OSI.
4. Визначення напрямків та способів оптимізації процесу управління НПМ з урахуванням особливостей умов функціонування.

Аналіз останніх публікацій. Більшість проаналізованих наукових праць із предметної області були спрямовані на вирішення задач управління в мережах класу MANET для вирішення часткових задач (реалізації однієї або декількох цільових функцій, тобто мають фрагментарний характер [6]. Так, у [7] розглядається варіант управління топологією мережі в динамічному режимі в залежності від залишкової енергії вузлів ретрансляції. У [8] представлено аналіз продуктивності табличних, реактивних та гібридних протоколів маршрутизації. У статті [9] представлено новий протокол маршрутизації – ACOLBR (маршрутизація з балансуванням навантаження на основі АСО), призначений для управління перевантаженням та балансуванням навантаження між кількома шляхами між джерелом і пунктом призначення. Автори застосували техніку колонії мурах АСО (Ant Colony Optimization) під час маршрутизації до MANET для контролю навантаження та балансування навантаження у мережі. У статті [10] представлені властивості мобільної однорангової мережі MANET з динамічним управлінням спектром та присвячена концепції та реалізації нового механізму управління трафіком, який використовується у високоточному симуляторі MANET з інтелектуальними вузлами для спеціальних додатків для вирішення задач управління радіоресурсом, безпекою та потоками. У статті [11] досліджується планування траєкторії БПЛА в безпроводовій сенсорній мережі для оптимізації пропускної здатності наземної мережі та розподілу енергії (ресурсів) вузлів бездротової сенсорної мережі.

Отже, для побудови наземно-повітряної Ad-hoc мережі необхідно вирішити комплекс взаємопов'язаних завдань, засередити увагу на особливості функціонування мереж як на наземному так і повітряному рівні з метою забезпечення інфокомунікаційного обміну заданого рівня якості.

Виклад основного матеріалу.

Модель мережі. Задано: НІМ представляється у вигляді сукупності трьох МР різних рівнів ψ , кожна з яких задається у вигляді графа $G^\psi = (V^\psi, E^\psi)$ із множиною вершин $V^\psi = \{v_i\}$ і множиною ребер $E^\psi = \{(v_i, v_j)\}$, $i, j = \overline{1, N_\psi}$, $\psi = \overline{1, 3}$ (1- мережа мобільних вузлів НМ, 2 – мережа мобільних базових станцій, 3 – мережа вузлів повітряного рівня на КА).

Параметри вузлів v_i^ψ : $e_i^\psi(t)$ – ємність батареї; $r_i^\psi(t) \leq r_{\max}$ – швидкість передачі пакетів; $p_i^\psi(t) \leq p_{\max}$ – потужність передачі i -го вузла.

Параметри радіоканалу $(i, j) \in E$: пропускна спроможність $s_{ij}(t) \leq s_{ij\max}$; s_{KA_i} , $i = \overline{1, N_3}$ визначається сумою пропускних здатностей вузлів s_i , $i \in N_i$, які знаходяться в зоні покриття цього КА; $\mathbf{R}^\xi(t) = \{r_{ij}^\xi(t)\}$ – швидкості передачі даних в радіоканалі; $\mathbf{G}^\xi(t) = \{g_{ij}^\xi(t)\}$ – вхідні потоки з ξ -го типу трафіка, де $\xi = \overline{1, 3}$ (дані, мова, відео), $g_{ij}^\xi(t) \leq g_{ij\max}^\xi$ – вхідне навантаження на вузлі i у момент часу t .

Параметри мережі: $\omega^\psi(t) \leq \omega_{\max}^\psi$, $\psi = \overline{1, 3}$ – інтенсивність зміни топології мережі ψ -го рівня, $\psi = \overline{1, 3}$; $E(t) = \|e_i(t)\|$ – ємності батарей; $i = \overline{1, N_\psi}$;

Фізичні параметри вузла НІМ (мережі ψ -ого рівня): координати розміщення (x_i, y_i, z_i) i -ого вузла мережі ψ -ого рівня; енергія необхідна для передачі, прийому одиниці інформації $e_{i\text{прд}}^\psi, e_{i\text{прм}}^\psi$, енергія необхідна для переміщення i -ого вузла мережі ψ -ого рівня $e_{i\text{пер}}^\psi$, ρ_i^ψ – швидкість переміщення i -ого вузла мережі ψ -ого рівня, $H_i^{\text{гран}}$ – гранична висота, та $T_{\text{гран}}^{\text{КА}}$ – граничний час польоту КА.

Параметри інформаційного обміну: a – вузол відправник, b – вузол адресат, $t_3^\xi(m_{ab})$ – затримка передачі ξ -го типу трафіка за маршрутом m_{ab} , $l_{ab}^\xi(m_{ab})$ – кількість ретрансляцій по маршруту m_{ab} ; $\xi = \overline{1, 3}$ – тип трафіка (відео, мова, дані); i_{ab}^ξ – інтенсивність потоку пакетів на маршруті ab ; джиттер $J_{ij}(t)$; $BER_{\xi ij}(t)$ – допустиме значення ймовірності помилки для ξ -го типу трафіка.

З урахуванням наведених вихідних даних, необхідно здійснити синтез методів, методик та моделей управління НІМ, які, при використанні їх у складі функціональних підсистем вузлових СУ (рис. 5), які повинні відповідати наступним вимогам $\{B_q^\psi\}$, $\psi = \overline{1, 3}$, $q = 1 \dots Q$:

1. Оптимізація параметрів функціонування мобільних вузлів, маршруту, напрямку, ψ -ої мережі, НІМ в цілому на різних рівнях моделі OSI.
2. Прийняття рішень в реальному часі.

3. Мінімальне завантаження мережі службовою інформацією.

4. Мінімізація використання вузлових (обчислювальних, енергетичних та ін.) та мережесих ресурсів в тому числі шляхом забезпечення адаптивного і розподіленого функціонування НПМ (мережі ψ -ого рівня) з можливістю самоорганізації вузлів.

5. Здійснення користувальницької мережевої оптимізації з урахуванням QoS.

Кінцевою метою управління НПМ може бути екстремум або виконання обмежень деякого функціонала (наприклад, максимум покриття площі спостереження, мінімум потужності передачі, максимум тривалості функціонування мережі тощо) для всієї НПМ, або в зонах покриття КА між вузлом відправником та адресатом з урахуванням наявних вузлових та мережесих ресурсів.

На етапі функціонування СУ НПМ реалізує множини цілей управління, які залежать від її функцій, при умові обмежень на якість обслуговування під час інформаційного обміну (підтримка діючих маршрутів із заданим рівнем QoS), невизначеність розміщення (відсутність можливості управління місцем розташування МБС та КА) і наявних ресурсів:

$$U^*(t) = \arg \underset{U^\psi(t) \in \Omega^\psi}{opt} \Pi^\psi(K^\psi(t), U(t)),$$

$$\Pi^\psi = \underset{opt}{\{S^\psi(K), t_3^\psi(K), p_i^\psi(K), e_i^\psi(K), N_i^{CAP}, N_i^{МБС}\}},$$

$$K^\psi(t) = \left\{ N_i^\psi, e_i^\psi(t), \mathbf{G}_\xi^\psi(t), \omega^\psi(t), O^\psi(t), B^\psi(t), Pr_{Zab}(t), Z_{ab}(t) \right\},$$

при виконанні обмежень на множини управляючих впливів та ресурси мережі

$$\Omega = \Omega_{пер} \times \Omega_{ком} \times \Omega_{рес},$$

де $\Omega_{пер}$ – обмеження при управлінні переміщенням МБС та КА, $\Omega_{ком}$ – обмеження при управлінні комунікаційною складовою, $\Omega_{рес}$ – обмеження на ресурси мережі

$$\Omega_{пер} = \left\{ \begin{array}{l} 0 < e_i(t) \leq e_{max}, i = \overline{1, N_{HM}^{\theta_k}} \\ p_i(t) \leq p_{max} \\ Z_{ab} = 1 \\ N_i^{МБС} \leq N_i^{МБСmax}, N_i^{КА} \leq N_i^{КАmax} \\ T_{пер}^\psi \leq T_{доп}^{\Pi^\psi} \end{array} \right\},$$

$$\Omega_{ком} = \left\{ \begin{array}{l} t_3^\xi(m_{ij}) \leq t_{здоп}^\xi \\ l_{ij}^\xi(m_{ab}) \leq l_{доп}^\xi \\ J_{ab} \leq J_{абдоп}^\xi \\ s_{ab}^\xi \leq s_{доп}^\xi(Z_{ab}) \\ Z_{ab} = 1 \end{array} \right\},$$

$$\Omega_{рес} = \left\{ \begin{array}{l} p_i \leq p_{пор}, \\ e_i \leq e_{imax}, \\ T_\Phi^{N_{НПМ}} \geq T_{min}^{N_{НПМ}} \\ T_{ріш}^\psi \leq T_{доп}^{\Pi^\psi} \end{array} \right\},$$

де Π^ψ – ціль управління ψ -ого рівня НПМ, що визначається параметрами стану мережі $K^\psi(t)$; $U^*(t)$ – оптимальний управляючий вплив ψ -ого рівня НПМ з множини $U(t)$, S – пропускна здатність, t_3 – час затримки передачі, p_i – потужність передачі i -го вузла, e_i – енергія батареї i -го вузла $T_\Phi^{N_{НПМ}}$ – час функціонування НПМ; $T_{пер}^\psi$ – час переміщення мобільного вузла мережі ψ -ого рівня НПМ, $T_{доп}^{\Pi^\psi}$ – допустимий час переміщення мобільного вузла мережі ψ -ого рівня НПМ для виконання цілі управління; $T_{ріш}^\psi$ – час прийняття рішення, $T_{рішдоп}^{\Pi^\psi}$ – допустиме значення часу прийняття рішення мобільного вузла мережі ψ -ого рівня НПМ для виконання цілі управління; $N_i^{CAP}, N_i^{МБС}$ – оптимальна кількість вузлів НМ та ПМ; $\omega^\psi(t)$ – інтенсивність зміни топології ψ -ого рівня НПМ; $\mathbf{G}_\xi^\psi(t)$ –

матриця навантаження ξ -го типу трафіку; Z_{ab} – наявність маршруту між a та b ; J_{ab} – джиттер; l_{ab}^ξ – кількість ретрансляцій для пари вузлів ab за маршрутом m_{ab} , a – відправник, b – адресат; N_{CAP} –

множина вузлів (КА) повітряної мережі; Pr_{Zab} – пріоритетність маршруту передачі ξ -го типу трафіку для вузлів ab ; $t_{здоп}^{\xi}$ – допустиме значення часу затримки передачі пакетів ξ -го типу трафіку, $N_{HM}^{\theta_k}$ – кількість наземних вузлів в зоні радіопокриття k -ої КА θ_k ; $O^{\psi}(t)$ – об'єм інформації; $B^{\psi}(t)$ – вимоги до безпеки інформації; $p_{пор}$ – порогове значення витрати енергії, що відповідає максимально допустимому ступеню розряду батареї вузла e_{imax} .

В загальному випадку, кожна із підсистем управління НІМ (рис. 2) забезпечує виконання взаємопов'язаних цільових функцій для виконання однойменних із підсистемами задач.



Рис.2. Система управління вузлами НІМ

Задачі синтезу топології НІМ. У [12] показано класифікація задач синтезу топології мережі FANET. В залежності від основного критерію ефективності розрізняють наступні варіанти постановки завдань синтезу топології (рис. 3):

- за критерієм мінімуму використання апаратного ресурсу – знаходження зв'язної топології з мінімальною кількістю КА при заданих обмеженнях (в якості обмежень можуть виступати пропускну здатність, час передачі пакетів тощо);
- за критерієм зв'язності (структурної надійності) – знаходження зв'язної (v -зв'язної) топології мережі (підмережі, зони) при заданих обмеженнях;
- за критерієм часу – знаходження зв'язної топології мережі, що забезпечує мінімізацію максимальної затримки передачі повідомлень у мережі при заданих обмеженнях.

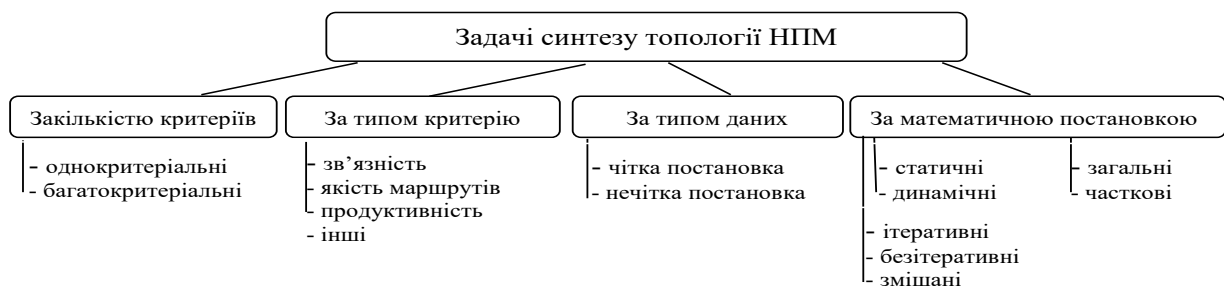


Рис.3. Задачі синтезу топології НІМ

Задачі управління маршрутизацією в НІМ. Маршрутизація в наземно-повітряних мережах є складним процесом, що охоплює ряд взаємопов'язаних завдань в умовах різного ступеню обізнаності про параметри вузлів та умов функціонування. Ключовим питанням у процесі управління маршрутизацією є вибір метрик та алгоритмів (протоколів) маршрутизації для виконання системних цільових мережових та користувальницьких [13] функцій і побудови/підтримання маршрутів мереж наземного та повітряного рівнів, в умовах функціонування ієрархічних НІМ динамічної топології.

Задачі управління навантаженням в НПМ. Серед задач управління навантаженням в НПМ розрізняють: балансування трафіку; контроль пропускної здатності; керування часу затримок; контроль надійності мережі (маршруту, напрямку), Розподіл навантаження між різними вузлами або каналами зв'язку для оптимізації використання ресурсів. Прогнозування та запобігання, збоїв та відмов комунікаційного обладнання (не навмисних).

Контроль пропускної здатності і затримок частково відбувається тут через управління параметрами передачі сигналу на фізичному рівні. Балансування трафіку, контроль фрагментації та управління помилками – на каналному. Контроль пропускної здатності і затримок через механізми управління потоком – на транспортному, і програмно – на прикладному рівні.

Задачі управління безпекою в НПМ. У наземно-повітряних мережах типу MANET - FANET безпека є одним з найважливіших аспектів, що вимагає особливої уваги. До ключових задач підсистеми управління безпекою відносяться:

1. Аутентифікація та авторизація. Перевірка справжності вузлів мережі та визначення їхніх прав на доступ до ресурсів.
2. Шифрування даних. Захист інформації від несанкціонованого доступу під час її передачі.
3. Цілісність даних. Гарантія того, що дані не були змінені (замінені) або пошкоджені під час передачі.
4. Контроль надійності. Моніторинг та виявлення випадкових або цілеспрямованих збоїв в мережі.
5. Виявлення та запобігання атак. Моніторинг мережевої активності для виявлення аномалій та потенційних зловмисних дій.

Задачі управління витратами енергоресурсу в НПМ. Управління витратами енергоресурсу в наземно-повітряних мобільних мережах (НПМ) є критично важливою задачею, особливо у сценаріях, де автономність системи є ключовим фактором. До основних задач належать:

1. Задачі максимізації часу «життя» вузлів (управління режимами роботи: активний, пасивний, сон) для збереження енергії.
2. Балансування енергії вузлів, тобто перерозподіл навантаження таким чином, щоб уникнути перевантаження окремих вузлів.
3. Енергоефективна маршрутизація (вибір маршрутів передачі на основі енергетичних характеристик вузлів).
4. Моніторинг стану енергоресурсів мережі (механізми централізованого збору та аналізу даних про залишкову ємність батарей).

Задачі управління польотом/переміщенням (позиціонування) в НПМ. Основні задачі:

1. Планування траєкторії. Визначення оптимального маршруту польоту на основі метрик мобільності (наприклад, відстань, висота, енергетичні витрати).
2. Відстеження позиціонування. Реальночасове відслідковування географічної позиції та орієнтації комунікаційних вузлів.
3. Контроль стабільності. Підтримка стабільного положення, шляхом мінімізації відхилень та помилок визначення кутів орієнтації комунікаційних вузлів під час польоту.
4. Уникнення колізій – детектування та уникнення можливих зіткнень між вузлами або з іншими об'єктами.
5. Адаптація до змінних умов – здатність до динамічної зміни маршруту або плану польоту в залежності від зовнішніх факторів (наприклад, погодні умови, динаміка руху комунікаційних вузлів наземної мережі).

Задачі підсистеми QoS - управління в НПМ. Контроль пропускної здатності для гарантування певного рівня обслуговування.

1. Контроль затримок передачі та джиттера в мережах із комутацією пакетів класу MANET-FANET є критично важливим.
2. Диференціація трафіку (в мережі, зоні, маршруті, каналі) за рівнями пріоритету.
3. Контроль надійності – гарантованої доставки пакетів з високим рівнем надійності, коли це необхідно (оцінка Packet Loss, Packet Delivery Ratio).
4. Моніторинг стану мережі – збір статистичних даних про якість обслуговування для подальшого аналізу та оптимізації.

Підсистема управління радіоресурсом в НІПМ. Ця підсистема відіграє ключову роль у використанні радіочастотного спектру, зокрема в умовах високої мобільності та динамічної топології мережі. Ключові задачі підсистеми:

1. Використання радіочастотного спектру – динамічне або статичне виділення радіочастотного спектру для різних вузлів та служб.
2. Мінімізація взаємних перешкод між сусідніми каналами або комунікаційними вузлами.
3. Адаптивне управління потужністю передачі для оптимізації дальності та якості зв'язку.
4. Множинний доступ до радіоресурсу з метою забезпечення узгодженого доступу для всіх вузлів з метою забезпечення якості інформаційного обміну.
5. Контроль якості зв'язку (встановлених з'єднань) за BER (Bit Error Rate), SNR (Signal-to-Noise Ratio) тощо.

В загальному випадку, управління мобільною [14] комунікаційною мережею можна поділити на етапи: етап планування, розгортання та етап оперативного управління.

Етап планування включає, в основному, ряд організаційно-технічних заходів із визначення складу сил та засобів, вихідних даних умов функціонування тощо.

Етап розгортання в класичному розумінні включає збір інформації про середовище функціонування, наявні вузлові (комунікаційні) ресурси, аналіз цілей управління, розрахунок мережеских ресурсів для прогнозування можливості забезпечення задач із інформаційного обміну із заданим рівнем якості QoS, та обґрунтування організаційно-технічних рішень щодо корегування складу основних засобів для виконання завдань, попереднього налаштування і підготовки мережі тощо.

Етап оперативного управління включає процеси із підтримання реалізації вузлових та мережеских цільових функцій [1].

Для декомпозиції задачі синтезу наземно-повітряної мережі необхідно вирішити ряд підзадач забезпечення узгодженого функціонування НКМ та ПМ на кожному із рівнів OSI, тому розглянемо більш детально, особливості функціонування мереж FANET та управління інформаційним обміном на кожному із рівнів OSI.

1. **Фізичний рівень** (Physical layer, PHY) - відповідає за передачу даних через фізичне середовище розповсюдження радіохвиль.

Так, продуктивність мережі буде значною мірою залежати від виду модуляції, зокрема, у стандарті IEEE 802.11 визначено кілька режимів передачі даних, таких як DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), крім того OFDM може використовувати різні формати модуляції, такі як BPSK, QPSK, 16-QAM або 64-QAM, для передачі даних на кожній піднесучій сигналу.

Параметри різних моделей антен можна також відноситися до фізичного рівня стандарту IEEE 802.11. Антени використовуються для передачі та прийому радіохвиль (сигналів), які використовуються для безпроводового зв'язку. У стандарті IEEE 802.11 визначено різні типи антен, які можуть використовуватися, такі як направлені (секторні) антени, їх різновиди та омні-антени (рис. 4).



Рис.4. Комунікаційні аероплатформи на безпілотних літальних апаратах обладнані:

- а) – антенами із круговою діаграмою направленості типу омні,
- б) направленими антенами

Характеристики антен, такі як коефіцієнт підсилення, напрямленість, смуга пропускання тощо, визначаються на фізичному рівні та впливають на ефективність та якість безпроводового зв'язку.

До переваг застосування омні-антен можна віднести простоту реалізації, однак серед недоліків – висока ймовірність виявлення засобами радіоелектронної розвідки (якщо застосовувати ПМ у військових цілях), та спричинення високого рівня шумів на вході приймачів інших КА не задіяних в сеансі передачі, що вимагає застосування складних механізмів фільтрації [15]. Застосування направлених антен дозволяє забезпечити кращу електромагнітну сумісність за рахунок можливості «спрямування» променя на адресата, однак ця проблема може також виникати у випадку взаємно-лінійного розташування інших КА повітряної мережі. Крім того, вирішення задач фільтрації додатково ускладнюється умовами розповсюдження радіохвиль – рівні шумів різного походження: спрямовані (спричинені засобами радіоелектронної боротьби (РЕБ)), та природні (хмарність, опади, час доби та пора року) тощо.

2. **Канальний рівень** (Channel Layer, CH) - відповідає за передачу даних через сукупність каналів утворених в мережі. В літературі часто вживається термін MAC-рівень і здебільшого його процеси розглядаються сумісно із фізичним та мережевим рівнем. За своєю суттю на MAC-рівні відбувається управління доступом до каналного ресурсу мережі, тобто вважаючи на фізичні параметри прийомо-передаючого вузла, антени, особливості середовища з одного боку (фізичний рівень) та види протоколів маршрутизації, що визначають алгоритми побудови маршрутів (мережевий рівень), визначаються способи доступу до каналного ресурсу шляхом застосування спеціальних повідомлень (зондів або запитів). Отже, на каналному рівні здійснюється процедура розподіленої координації RTS/CTS/DATA/ACK пакетів. На якість каналу зв'язку сильно впливає висока мобільність вузлів і збільшення відстані між вузлами, що призводить до складності пошуку вузла адресата (особливо під час дії направлених завад), високих накладних витрат енергії на передачу повідомлень, низького рівня сигналу на прийомній стороні (зменшення SINR), збільшення коефіцієнта бітових помилок BER, збільшення коефіцієнту втрачених пакетів PL (Packet Loss), складності управління шириною діаграми направленості у випадку застосування направлених антен, і, як наслідок, збільшення часу затримки передачі пакетів в каналі. Перераховані задачі вирішуються різними способами [16-19]. Так, в [16] використання протоколу LODMAC (Location Oriented Directional MAC) дозволяє визначити і здійснювати обмін інформацією про точне місцезнаходження за рахунок використання направлених антен та розподіленого прийому службової інформації та корисної. Наприклад у [17] за зондом запитом RTS надсилається зонд - відповідь CTS і за рівнем квитанції розраховується приблизне місцезнаходження вузла адресата. Адаптивне управління потужністю передачі в каналі також можна забезпечити за рахунок рознесення прийому та передачі із застосуванням технології MIMO (Multiple Input Multiple Output [18], що дозволить натомість збільшення кількості прийомопередаючих пристроїв як у [16], можливо суттєво підвищити рівень сигналу на прийомній стороні та пропускну здатність каналу, використавши спеціальну MIMO – антену, але із відносно ускладненим процесом обробки та фільтрації сигналів. У [19] досліджено застосування розробленого Direction-MAC протоколу, що технічно реалізований з використанням шести секторних антен із «поділеною» на шість частин діаграмою направленості у горизонтальній площині, механізми обміну пакетами показано на рисунку 6.

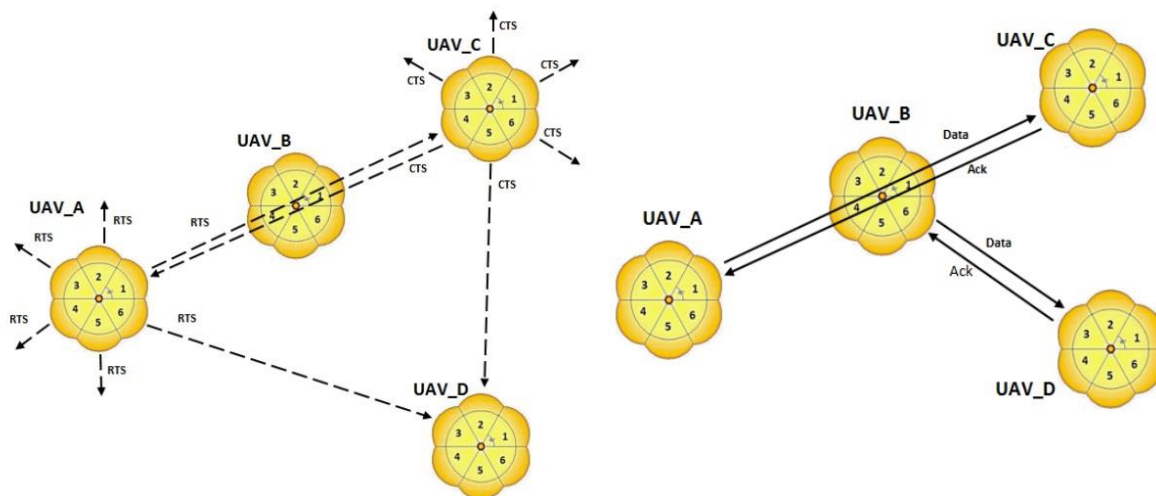


Рис.5. Механізми обміну пакетами RTS/CTS/DATA/ACK із застосуванням протоколу Direct-MAC [18]

Крім того, такий протокол як Spanning Tree Protocol (STP) часто використовуються для балансування трафіку на каналному рівні.

3. **Мережевий рівень** (Network layer). Основним завданням, що виконується за цим рівнем - маршрутизація, тобто знаходження оптимальних маршрутів із множини утворених або підготовлених каналів для передачі даних між вузлами мережі та підтримки цих маршрутів, адаптуючись до змін у топології мережі та інших умов. Маршрутизація в повітряних мережах має подібні принципи та підходи до мереж MANET, однак має свої особливості. По-перше – динамічний рух в 3D просторі, що призводить до високої інтенсивності зміни топології мережі, а відтак точності визначення однієї із ключових метрик маршрутизації (відстані до сусідніх вузлів), що може призвести до високих показників затримки передачі. По-друге – обмежена пропускна здатність каналів, особливо в умовах завад. По-третє – обмежена енергія батарей повітряних вузлів, що витрачається не тільки на інформаційний обмін а і на переміщення за цільовою траєкторією.

Класично, протоколи маршрутизації за способом побудови і підтримки маршрутів поділяються на три основні класи: проактивні, зондові (реактивні) та гібридні.

Одним із найпоширеніших є таблично-орієнтований (активний) Optimized Link State Routing (OLSR) – протокол IP-маршрутизації, оптимізований для комунікаційних мереж класу MANET, побудований на основі алгоритму Дійкстри та обміні hello-повідомленнями для отримання інформації про стан маршрутів і топологію мережі. Кожен вузол розсилає цю інформацію між сусідніми вузлами для виявлення наступного вузла в напрямку до адресата, використовуючи в якості метрики найменшу кількість ретрансляцій [20].

Переваги OLSR: відсутня затримка передачі потоків даних, пов'язана з процедурою виявлення та побудови маршрутів; витрати вузлових та мережесих ресурсів не зростають при збільшенні кількості маршрутів передачі.

Недоліки OLSR: неможлива побудова маршрутів заданої якості обслуговування; неефективне використання енергетичних і мережесих ресурсів при відправці службової інформації; у мережах великої розмірності вимагає відносно високої пропускної здатності радіоканалів та продуктивності вузлових процесорів.

Другим серед поширених таблично-орієнтованих протоколів маршрутизації, який базується на класичному алгоритмі Беллмана-Форда є Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV). Особливість функціонування протоколу полягає в тому, що мобільні комунікаційні вузли підтримують маршрутну таблицю до всіх можливих адресатів мережі. Кожен її вхід позначається порядковим номером, який визначається адресатом. Маршрутна інформація передається між вузлами шляхом періодичної відправки всієї маршрутної таблиці і додаткових оновлень, які передаються частіше [21].

Переваги DSDV: відсутність заиклення маршрутів; в МР з малою кількістю вузлів забезпечує миттєву побудову маршрутів передачі.

Недоліки DSDV: вимагає регулярного оновлення своїх маршрутних таблиць, що потребує використання вузлових і мережесих ресурсів, навіть коли мережа знаходиться в режимі очікування; не підходить для радіомереж з високою динамікою зміни топології.

Серед зондових реактивних протоколів маршрутизації було розглянуто Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV).

AODV – це зондовий протокол маршрутизації, який являє собою комбінацію протоколів DSR та DSDV. Побудова та підтримання маршрутів здійснюється зондовими методами, зберігання маршрутів відповідно до таблично-орієнтованих методів. Для підтримання інформації про „нові” маршрути використовується порядкова нумерація маршрутів. Протокол використовує чотири типи повідомлень: зонд-запит, зонд-відповідь, зонд-корегування та hello-повідомлення [22].

Функціонування протоколу відбувається наступним чином. За необхідності передачі пакета вузол звертається до маршрутної таблиці за маршрутом. У випадку його відсутності передається зонд-запит усім сусіднім вузлам. Проміжні вузли, прийнявши зонд-запит і не маючи маршруту до адресата, ретранслюють його далі. Адресат, отримавши зонд-запит, формує зонд-відповідь і надсилає його відправнику, який коригує свою маршрутну таблицю і розпочинає передачу даних.

Переваги AODV: відсутність заиклення маршрутів; вирішення проблеми „кінцевого рахунку”; гарантія отримання „нових” маршрутів; підтримання багатокористувальницької маршрутизації; низька обчислювальна складність та потреба в ресурсах пам'яті.

Недоліки AODV: тривала та складна процедура встановлення з'єднання; використання hello-повідомлень, слабка адаптивність до мереж із динамічною топологією [23].

Та відповідно до [23] MAODV (Multicast AODV) можна віднести до гібридних протоколів маршрутизації, бо концептуально розроблений на основі AODV та DSDV, для використання в мережах, що складаються із великої кількості мобільних вузлів, тобто в умовах коли топологія мережі постійно змінюється.

В основі алгоритму протоколу - кожній мультікастовій групі створюється двостороннє дерево, що включає мобільні вузли двох відмінних класів. МК може бути або вузлом, який приєднався до мультікастового дерева, або вузлом, який не приєднався до мультікастової групи, але пересилає мультікастові повідомлення до інших вузлів у дереві. Для встановлення та підтримання маршрутів протокол використовує чотири різні типи повідомлень:

А) Route Request (RREQ) – використовується для запиту маршруту до певної мети. Коли вузол хоче відправити пакет до певного призначення, але не має активного маршруту до цього призначення, він ініціює процес RREQ.

Б) Route Reply (RREP) – повідомлення відповіді на RREQ. Коли вузол отримує RREQ і має активний маршрут до запитаного призначення, він відправляє RREP назад до вузла, який ініціював RREQ.

В) Multicast Activation (MACT) – використовується для активації мультікастового маршруту. Коли вузол хоче приєднатися до мультікастової групи, він відправляє MACT до лідера групи або іншого члена групи.

Г) Group Hello (GRPH) – періодичне повідомлення, яке використовується для підтримання мультікастового дерева. Воно допомагає визначити, чи активні сусідні вузли, і чи є вони частинами мультікастового дерева.

Недоліком використання MAODV – є великий об'єм службової інформації та висока обчислювальна складність оновлення маршрутної інформації.

Крім MAODV, до гібридних протоколів маршрутизації варто віднести координатні методи маршрутизації, що побудовані на базі проактивних і реактивних, однак використовують дані про місцезнаходження вузлів (через GPS, трилатерацію, триангуляцію) тощо.

Сучасним трендом у галузі маршрутизації є застосування протоколів маршрутизації на основі нейронних мереж та глибокого машинного навчання, що є по суті теж гібридними протоколами, однак будуються на основі адаптивних інтелектуальних алгоритмів вибору маршруту. У статті [24] детально показано алгоритми реалізації таких протоколів. Серед них: DQN-VR - протокол вертикальної маршрутизації на основі глибокого алгоритму навчання Q-мережі (DQN-VR); TQNGPSR – Чен та ін. запропонували протокол географічної маршрутизації на основі Q-мережі з урахуванням трафіку, яка базується на маршрутизації без збереження даних про сусідні вузли (GPSR); QGeo - Юнг та ін. – запровадили протокол географічної маршрутизації на основі Q-навчання (QGeo).

Разом з тим, до недоліків застосування інтелектуальних протоколів маршрутизації можна віднести високу обчислювальну складність, що накладає високі накладні витрати енергії батарей повітряних вузлів, проте існують математичні способи екстраполяції для прогнозування простору станів мережі для прийняття оптимальних рішень в умовах невизначеності, та апроксимації для спрощення процесу адаптації (підвищення швидкості обробки даних із збереженням точності).

4. **Транспортний рівень** (Transport Layer). Хоча FANET може використовувати стандартні протоколи транспортного рівня, такі як TCP (Transmission Control Protocol) – механізм TCP congestion control та UDP (User Datagram Protocol), існують додаткові виклики, пов'язані з динамічною природою FANET, які можуть вимагати специфічних адаптацій або нових протоколів для управління потоком. Через особливості FANET, такі як висока мобільність вузлів, змінна топологія та часто високі коефіцієнти втрати пакетів в заданих умовах, можуть з'являтися нові або адаптовані протоколи, які враховують ці виклики. Але, залежно від конкретного застосування FANET, можуть з'являтися специфічні протоколи, призначені для певних задач, таких як кооперативне або децентралізоване управління повітряною мережею. Разом з тим, можливо узагальнити деякі адаптивні версії стандартних протоколів транспортного рівня:

а) QUIC (Quick UDP Internet Connections) – сучасний протокол транспортного рівня, який забезпечує низьку затримку та високу продуктивність шляхом створення мультиплексованих

з'єднань між двома кінцевими точками, крім того протокол забезпечує шифрування та аутентифікацію даних [25].

б) SCTP (Stream Control Transmission Protocol) – протокол, який забезпечує надійну передачу даних і може враховувати множинні шляхи передачі. SCTP забезпечує контроль навантаження (управління чергами), також підтримує мультиплексоване з'єднання. Протокол може виявляти втрачені та дубльовані пакети при передачі [26].

в) TCP Vegas – протокол TCP, які адаптуються до умов мережі для оптимізації продуктивності. TCP Vegas виявляє перевантаження на початковому етапі на основі оцінки зростання значень часу затримки Round-Trip Time (RTT) пакетів у з'єднанні, на відміну від інших версій, таких як Reno, New Reno тощо, які виявляють перевантаження лише після того, як воно фактично сталося через втрату пакетів. Алгоритм сильно залежить від точного обчислення базового значення RTT. Якщо значення RTT занадто мале, алгоритм може помилково вважати, що з'єднання перевантажене, і зменшити швидкість передачі даних. Це може призвести до того, що пропускна здатність з'єднання буде меншою за доступну ширину смуги. З іншого боку, якщо значення RTT занадто велике, алгоритм може надати з'єднанню більше пропускної здатності, ніж доступна ширина смуги, що може призвести до перевищення пропускної здатності з'єднання [27].

г) CoAP (Constrained Application Protocol) – протокол, призначений для використання в обмежених мережах, таких як FANET, і може підтримувати кооперативні сценарії. CoAP використовує UDP (User Datagram Protocol) для передачі даних між двома кінцевими точками і підтримує вбудоване виявлення сервісів та ресурсів. CoAP призначений для роботи в обмежених мережах, таких як FANET, які характеризуються низькою потужністю, високою втратою пакетів та низькою пропускною здатністю. спеціалізований веб-протокол, який призначений для використання в обмежених мережах, таких як FANET (Flying Ad-hoc Networks). Основна особливість протоколу полягає в тому, що він розроблений для пристроїв з обмеженими можливостями, таких як безпроводові датчики, які мають обмежені ресурси, наприклад, 8-бітні мікроконтролери з невеликою кількістю ROM та RAM. Він підтримує, а також ключові концепції Вебу, такі як URIs (Uniform Resource Identifiers) та Internet media types. Крім того, протокол може легко інтегруватися з HTTP для забезпечення взаємодії з Вебом [28].

Разом з тим, CoAP має суттєві недоліки, що визначають напрямки подальшого удосконалення. Серед них – *обмежена надійність*: Оскільки CoAP використовує протокол UDP для передачі даних, він не гарантує доставку пакетів. Це може призвести до втрати даних у мережах з динамічною топологією.

У плані *забезпечення безпеки* CoAP підтримує шифрування, однак, він може бути менш безпечним за інші протоколи, такі як HTTPS.

5. На **прикладному рівні** (Application Layer) виконуються комплексні завдання управління якістю обслуговування, для передачі різних типів трафіку (відео, мова, дані), процесами адаптивного управління енергетичним та комунікаційним ресурсом мобільних комунікаційних вузлів, крім того, за рахунок програмного забезпечення та спеціальних алгоритмів здійснюється розподіл навантаження на різні сервери або сервіси.

Таким чином, результати дослідження показали, що процес формування рішень управління мережею НІМ є складною багатопараметричною задачею оптимізації цільових функцій [29], реалізованих комплексно на різних рівнях моделі OSI. В умовах ресурсних обмежень, завдання управління НІМ: управління топологією, маршрутизацією, навантаженням, безпекою, та якістю інформаційного обміну суттєво ускладнюється.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

З урахуванням концепції ієрархічної побудови мобільних радіомереж, а також особливостей функціонування повітряних комунікаційних мереж здійснено формальний опис процесу управління перспективними комунікаційними наземно-повітряними мережами.

Розкрито особливості процесу управління НІМ та особливості функціонування повітряної мережі на різних рівнях моделі OSI, та встановлено взаємозв'язки між ними для реалізації управлінських рішень кожною із підсистем управління мережею.

В результаті досліджень – встановлено, що завдання синтезу наземно-повітряних комунікаційних мереж є складною багатопараметричною оптимізаційною задачею, а процес обробки великої кількості вихідних даних може суттєво збільшити обсяг службової інформації і, відповідно, зменшити обсяг корисної.

Визначено відповідності задач процесу управління перспективними наземно-повітряними комунікаційними мережами кожному із етапів управління.

Напрямом подальших досліджень є аналіз існуючих механізмів (методів, методик і моделей) забезпечення функціонування підсистем збору контролю, обробки, зберігання даних, підсистеми формування управлінських рішень та підсистеми навчання для забезпечення виконання цільових функцій на кожному із рівнів НІПМ.

Список бібліографічного опису

1. Романюк В. А. Цільові функції оперативного управління тактичними радіомережами. *Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ «КПІ»*. 2012. № 1. С. 109–117.
2. Romaniuk V. A., Bieliakov R. O. Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. No. 50. P. 125–130. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19.
3. Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events / M. Silvagni et al. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2016. Vol. 8, no. 1. P. 18–33. URL: <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1238852> (date of access: 30.09.2023).
4. 3D Mapping based-on Integration of UAV Platform and Ground Surveying / M. Y. A. Sari et al. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2018. Vol. 9, no. 12. URL: <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2018.091223> (date of access: 30.09.2023).
5. Hrymud A., Romaniuk V. Modifying a method for direct data collection by a telecommunication aerial platform from nodes of wireless sensor networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 4, no. 9(118). P. 15–29. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263559> (date of access: 30.09.2023).
6. Романюк В. А. Концепція ієрархічної побудови інтелектуальних систем управління тактичними радіомережами класу MANET. *НВЧ-техніка та телекомунікаційні технології* : Збірник тез доповідей Міжнар. кримська конф. КриМиКо. Севастополь, 2012. С. 265.
7. Madhusudan G., Kumar T. Energy Management Dynamic Control Topology In MANET. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2017. Vol. 225. P. 012190. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/225/1/012190> (date of access: 30.09.2023).
8. Veepin Kumar, Sanjay Singla. A Performance Analysis of MANET Routing Protocols. *international journal of engineering technology and management sciences*. 2022. Vol. 6, no. 6. P. 173–180. URL: <https://doi.org/10.46647/ijetms.2022.v06i06.027> (date of access: 30.09.2023).
9. Dholey M. K., Sinha D. ACOBR: ACO Based Load Balancing Routing in MANET. *Wireless Personal Communications*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09804-w> (date of access: 30.09.2023).
10. Gajewski P., Łopata J., Łubkowski P. Performance Analysis of Public Safety Cognitive Radio MANET for Diversified Traffic. *Sensors*. 2022. Vol. 22, no. 5. P. 1927. URL: <https://doi.org/10.3390/s22051927> (date of access: 30.09.2023).
11. Gupta N., Agarwal S., Mishra D. Trajectory Design for Throughput Maximization in UAV-Assisted Communication System. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*. 2021. Vol. 5, no. 3. P. 1319–1332. URL: <https://doi.org/10.1109/tgcn.2021.3085867> (date of access: 30.09.2023).
12. ЛІТАЮЧІ САМООРГАНІЗУЮЧІ РАДІОМЕРЕЖІ / В. А. Романюк та ін. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2017. № 1. С. 104–114.
13. THE HIERARCHICAL MODEL OF INTERACTION BETWEEN INTELLIGENT AGENTS IN THE MANET CONTROL SYSTEMS / O. Y. Sova et al. *Information and Telecommunication Sciences*. 2015. No. 1. P. 21–28. DOI: 10.20535/2411-2976.12015.21-28.
14. Беляков Р. О., Фесенко О. Д. Модель мобільності наземної комунікаційної мережі спеціального призначення. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. № 51. С. 130–138. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2023-51-17.
15. АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ / О. Цатурян та ін. *Збірник наукових праць ВІТІ*. 2018. № 4. С. 132–140.
16. Temel S., Bekmezci I. LODMAC: Location Oriented Directional MAC protocol for FANETs. *Computer Networks*. 2015. Vol. 83. P. 76–84. URL: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.03.001> (date of access: 30.09.2023).
17. An adaptive directional MAC protocol for ad hoc networks using directional antennas / X. Lu et al. *Science China Information Sciences*. 2012. Vol. 55, no. 6. P. 1360–1371. URL: <https://doi.org/10.1007/s11432-012-4550-6> (date of access: 30.09.2023).
18. Reddy K. C., Devanagavi G. D., Thippeswamy M. QoS Oriented and Energy Efficient Routing Protocol for Cooperative MIMO Based Mobile WSN: Q-E2RPC. *Journal of Engineering Science and Technology Review*. 2019. Vol. 12, no. 1. P. 212–223. URL: <https://doi.org/10.25103/jestr.121.25> (date of access: 30.09.2023).

19. On the Performance of Flying Ad-hoc Networks (FANETs) with Directional Antennas / M. A. Khan et al. 2018 5th International Multi-Topic ICT Conference (IMTIC), Jamshoro, 25–27 April 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/imt.2018.8467274> (date of access: 30.09.2023).
20. Permatasari U. S., Widiyarsi I. R. Analisis Routing Protokol Optimized Link State Routing (OLSR) Pada Raspberry Pi. *AITI*. 2020. Vol. 16, no. 2. P. 151–164. URL: <https://doi.org/10.24246/aiti.v16i2.151-164> (date of access: 17.09.2023).
21. Kumar A., Hans R. Performance Analysis of DSDV, I-DSDV, OLSR, ZRP Proactive Routing Protocol in Mobile AdHoc Networks in IPv6. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2015. Vol. 77. P. 25–36. URL: <https://doi.org/10.14257/ijast.2015.77.03> (date of access: 17.09.2023).
22. Analysis of AODV Protocol in MANET / P. Pal et al. *International Journal of Computer Applications*. 2019. Vol. 177, no. 24. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.5120/ijca2019919691> (date of access: 17.09.2023).
23. Singh G., Dhir V. Performance Analysis of AODV and MAODV Protocol in Mobile ADHOC Networks. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*. 2018. Vol. 6, no. 12. P. 706–712. URL: <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i12.706712> (date of access: 17.09.2023).
24. Topology-Based Routing Protocols and Mobility Models for Flying Ad Hoc Networks: A Contemporary Review and Future Research Directions / A. H. Wheeb et al. *Drones*. 2021. Vol. 6, no. 1. P. 9. URL: <https://doi.org/10.3390/drones6010009> (date of access: 30.09.2023).
25. Implementation of Quick UDP Internet Connections / M. Roy et al. *International Journal of Engineering and Computer Science*. 2020. Vol. 9, no. 01. P. 24921–24924. URL: <https://doi.org/10.18535/ijecs/v9i01.4425> (date of access: 30.09.2023).
26. Halepoto I. A. Evaluation of Multipath Transmission using the Stream Control Transmission Protocol. *International Journal of Computing and Network Technology*. 2017. Vol. 5, no. 3. P. 131–136. URL: <https://doi.org/10.12785/ijcnt/050305> (date of access: 30.09.2023).
27. Brakmo L. S., O'Malley S. W., Peterson L. L. TCP Vegas. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. 1994. Vol. 24, no. 4. P. 24–35. URL: <https://doi.org/10.1145/190809.190317> (date of access: 30.09.2023).
28. Adoption of Constrained Application Protocol / T. Levä et al. *International Journal of Innovation in the Digital Economy*. 2016. Vol. 7, no. 1. P. 38–53. URL: <https://doi.org/10.4018/ijide.2016010104> (date of access: 30.09.2023).
29. Romaniuk V. A., Bieliakov R. O. Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*. 2023. No. 50. P. 125–130. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19.

References

1. Romaniuk, V. A. (2012). Tsilovi funktsii operatyvnoho upravlinnia taktychnymy radiomerezhamy [Target functions of operational management of tactical radio networks]. *Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU «KPI» - Scientific works collection of MITIT NTUU "KPI"*, 1, 109–117. [in Ukrainian].
2. Romaniuk, V. A., & Bieliakov, R. O. (2023). Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, (50), 125–130. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19>.
3. Silvagni, M., Tonoli, A., Zenerino, E., & Chiaberge, M. (2016). Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(1), 18–33. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1238852>
4. Sari, M. Y. A., Wahid, A., Mohd, H., Razak, A., Imzan, M., M. Idris, K., Ahmad, A., & Dollah, R. (2018). 3D Mapping based-on Integration of UAV Platform and Ground Surveying. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(12). <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2018.091223>
5. Hrymud, A., & Romaniuk, V. (2022). Modifying a method for direct data collection by a telecommunication aerial platform from nodes of wireless sensor networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(9(118)), 15–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.263559>
6. Romaniuk, V. A. (2012). Kontseptsyia yerarkhycheskoho postroyeniya yntellektualnykh system upravleniya taktycheskymy radyosetiamy klassa MANET [The concept of hierarchical construction of intelligent management systems for tactical radio networks of the MANET class]. Proceedings from KryMyKo: *Mezhdunarodna Krymska konferentsiia «NVCh-tekhnyka ta telekommunikatsiyni tekhnolohii» - International Crimean conference «Microwave technology and telecommunication technologies»*. (P. 265). Sevastopol: KryMyKo [in Ukrainian].
7. Madhusudan, G., & Kumar, T. (2017). Energy Management Dynamic Control Topology In MANET. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 225, 012190. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/225/1/012190>
8. Veepin Kumar & Sanjay Singla. (2022). A Performance Analysis of MANET Routing Protocols. *international journal of engineering technology and management sciences*, 6(6), 173–180. <https://doi.org/10.46647/ijetms.2022.v06i06.027>
9. Dholey, M. K., & Sinha, D. (2022). ACOLBR: ACO Based Load Balancing Routing in MANET. *Wireless Personal Communications*. <https://doi.org/10.1007/s11277-022-09804-w>
10. Gajewski, P., Łopatka, J., & Łubkowski, P. (2022). Performance Analysis of Public Safety Cognitive Radio MANET for Diversified Traffic. *Sensors*, 22(5), 1927. <https://doi.org/10.3390/s22051927>
11. Gupta, N., Agarwal, S., & Mishra, D. (2021). Trajectory Design for Throughput Maximization in UAV-Assisted Communication System. *IEEE Transactions on Green Communications and Networking*, 5(3), 1319–1332. <https://doi.org/10.1109/tgcn.2021.3085867>
12. Романюк, В. А., Степаненко, Є. О., Панченко, І. В., & Восколович, О. І. (2017). ЛІТАЮЧІ САМООРГАНІЗУЮЧІ РАДІОМЕРЕЖІ. *Збірник наукових праць ВІТІ*, (1), 104–114.
13. Sova, O. Y., Romanyuk, V. A., Minochkin, D. A., & Polshchikov, K. O. (2015b). THE HIERARCHICAL MODEL OF INTERACTION BETWEEN INTELLIGENT AGENTS IN THE MANET CONTROL SYSTEMS. *Information and Telecommunication Sciences*, (1), 21–28. <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12015.21-28>.

14. Bieliakov, R., & Fesenko, O. (2023). Model mobilnosti nazemnoi komunikatsiinoi mrezi spetsialnogo przyznachennia [Mobility model of a special purpose terrestrial communication network]. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, 51, 130–138.
15. Цатурян, О., Лебідь, Є., Беляков, Р., & Мартинюк, В. (2018). АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ. *Збірник наукових праць ВІТІ*, (4), 132–140.
16. Temel, S., & Bekmezci, I. (2015). LODMAC: Location Oriented Directional MAC protocol for FANETs. *Computer Networks*, 83, 76–84. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.03.001>
17. Lu, X., Towsley, D., Lio, P., & Xiong, Z. (2012). An adaptive directional MAC protocol for ad hoc networks using directional antennas. *Science China Information Sciences*, 55(6), 1360–1371. <https://doi.org/10.1007/s11432-012-4550-6>
18. Reddy, K. C., Devanagavi, G. D., & Thippeswamy, M. (2019). QoS Oriented and Energy Efficient Routing Protocol for Cooperative MIMO Based Mobile WSN: Q-E2RPC. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, 12(1), 212–223. <https://doi.org/10.25103/jestr.121.25>
19. Khan, M. A., Qureshi, I. M., Khan, I. U., Nasim, A., Javed, U., & Khan, W. (2018). On the Performance of Flying Ad-hoc Networks (FANETs) with Directional Antennas. *У 2018 5th International Multi-Topic ICT Conference (IMTIC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/imtic.2018.8467274>
20. Permatasari, U. S., & Widiasari, I. R. (2020). Analisis Routing Protokol Optimized Link State Routing (OLSR) Pada Raspberry Pi. *AITI*, 16(2), 151–164. <https://doi.org/10.24246/aiti.v16i2.151-164>
21. Kumar, A., & Hans, R. (2015). Performance Analysis of DSDV, I-DSDV, OLSR, ZRP Proactive Routing Protocol in Mobile AdHoc Networks in IPv6. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 77, 25–36. <https://doi.org/10.14257/ijast.2015.77.03>
22. Pal, P., Sarkar, P., Deb, S., & Bhattacharya, G. (2019). Analysis of AODV Protocol in MANET. *International Journal of Computer Applications*, 177(24), 1–6. <https://doi.org/10.5120/ijca2019919691>
23. Singh, G., & Dhir, V. (2018). Performance Analysis of AODV and MAODV Protocol in Mobile ADHOC Networks. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, 6(12), 706–712. <https://doi.org/10.26438/ijcse/v6i12.706712>
24. Wheeb, A. H., Nordin, R., Samah, A. A., Alsharif, M. H., & Khan, M. A. (2021). Topology-Based Routing Protocols and Mobility Models for Flying Ad Hoc Networks: A Contemporary Review and Future Research Directions. *Drones*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.3390/drones6010009>
25. Roy, M., Ahsan, S., Kumar, G., & Vimal, A. (2020b). Implementation of Quick UDP Internet Connections. *International Journal of Engineering and Computer Science*, 9(01), 24921–24924. <https://doi.org/10.18535/ijecs/v9i01.4425>
26. Halepoto, I. A. (2017). Evaluation of Multipath Transmission using the Stream Control Transmission Protocol. *International Journal of Computing and Network Technology*, 5(3), 131–136. <https://doi.org/10.12785/ijcnt/050305>
27. Brakmo, L. S., O'Malley, S. W., & Peterson, L. L. (1994). TCP Vegas. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 24(4), 24–35. <https://doi.org/10.1145/190809.190317>
28. Levä, T., Ilaghi, M., Looga, V., Komu, M., Beijar, N., & Mazhelis, O. (2016). Adoption of Constrained Application Protocol. *International Journal of Innovation in the Digital Economy*, 7(1), 38–53. <https://doi.org/10.4018/ijide.2016010104>
29. Romaniuk, V. A., & Bieliakov, R. (2023). Objective control functions of FANET communication nodes of land-air network. *COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES: EDUCATION, SCIENCE, PRODUCTION*, 50, pp. 125-130. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2023-50-19.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-41>

УДК 004.93

Левицька Тетяна Олександрівна, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-3359-1313>

Парахін Руслан Олегович, студент

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, Україна

СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ДОКЛАДЕНИХ ЗУСИЛЬ, РУХУ ТА ВІБРАЦІЙНОГО ВІДГУКУ ВЕСЛА З BLUETOOTH®-КОМУНІКАЦІЄЮ

Левицька Т.О., Парахін Р.О. Система вимірювання докладених зусиль, руху та вібраційного відгуку весла з Bluetooth®-комунікацією. Дана стаття присвячена огляду окремих аспектів реалізації вбудованої системи вимірювання спортивних параметрів для "розумного" весла з Bluetooth®-комунікацією. Досліджено особливості функціонування протоколу Bluetooth® Low energy для пристроїв публічного використання, розроблено систему безпечної комунікації між смартфоном користувача та веслом, проведено аналіз поведінки сенсорів навантаження (прикладеного зусилля), гіроскопу та акселерометра. Проаналізовано умови зовнішньої середовища функціонування пристроїв та проведено відповідні корекції програмного коду для подовження часу повноцінного функціонування. Планується впровадження методів самоперевірки стану сенсорів "розумних" весел.

Ключові слова: вбудовані системи, Bluetooth® Low Energy, вимірювання зусиль, відстежування руху, калібрування

Levitska T., Parakhin R. A system for measuring the effort, movement and vibration response of the paddle with Bluetooth® communication. This article is devoted to an overview of certain aspects of the implementation of a built-in system for measuring sports parameters for a "smart" paddle with Bluetooth® communication. The features of the Bluetooth® Low energy protocol for public use devices were studied, a secure communication system was developed between the user's smartphone and the paddle, and the behavior of load sensors (applied force), gyroscope and accelerometer were analyzed. The conditions of the external environment for the functioning of the devices were analyzed and appropriate corrections were made to the software code to extend the time of full functioning. It is planned to introduce methods of self-checking the state of sensors of "smart" oars.

Keywords: embedded systems, Bluetooth® Low Energy, effort measurement, motion tracking, calibration

Постановка проблеми. Кількісна та якісна оцінка зусиль веслувальника під час тренування є важливою частиною процесу підготовки до змагань та покращення власних результатів. Однак на теперішній момент, більшість тренувань з веслування на воді проходять без можливості оцінити показники веслувальника у конкретних цифрах. Тренери повинні використовувати стаціонарні тренажери[1], аби побачити зусилля, які докладає веслувальник; або, якщо тренування проходить у човні на воді - лише на власний зір та відчуття від того, на скільки спортсмен докладає зусилля для досягнення результату. Ситуація ускладнюється тим, що веслування є командним видом спорту, де в одному човні знаходяться по 6 (а інколи й більше) веслувальників, за якими потрібно стежити одночасно.

Стаціонарні тренажери не здатні у повній мірі відтворити обставини реальних змагань на воді, а обладнання, яке можна тимчасово встановити на човен для замірів показників під час повноцінних тренувань, є дуже коштовним та потребує виклику команди спеціалістів, що будуть займатися замірами.

Метою даної роботи було створити дешеву, компактну, надійну та енергоефективну систему, яку можна встановити у весла на постійній основі, аби під час кожного тренування можливо було у конкретних цифрах оцінити показники кожного з веслувальників. Пристрій повинен витримувати занурення у воду, бути стійким до морозів, не потребувати частих підзарядок чи іншого обслуговування.

Виклад основного матеріалу.

Протокол Bluetooth® Low Energy[2] було обрано для комунікації з "розумним" веслом через його відповідність низці потреб, які не змогли задовільнити інші методи комунікації. В таблиці 1 порівняно ключові аспекти протоколів комунікації, що розглядаються у порівнянні з Bluetooth® Low Energy. Варто окремо зазначити, що йдеться саме про BLE - оновлену версію технології, що відрізняється низьким енергоспоживанням та принципово іншими методами побудови комунікації.

Таблиця 1 – Приклади результатів навчання багатошарового перцептрону

Метод	Шлях даних	Час надходження даних на смартфон	Використання на відстані 1 км. від берега	Захист від втручання третіх осіб	Вартість підтримки	Енергоспоживання
BLE	Весло - Смартфон	< 100 мс	Можливе	Частковий	0 грн / міс.	Низьке
LTE	Весло - Сотова станція - Смартфон	Від 200 мс, погіршується зі збільшенням відстані від сотової станції	Майже неможливе	Достатній	Від 30 грн / міс. [3]	Високе
Local Wi-Fi	Весло - Роутер - Смартфон	100-200 мс	Неможливе вже за декілька десятків метрів від роутера	Достатній	0 грн / міс.	Високе

З порівняльної таблиці 1 бачимо, що серед підтримуваних смартфонами методів комунікації, лише Bluetooth® дає можливість обмінюватися даними на достатній швидкості в умовах великої дистанції від берега.

Комунікацію за даним протоколом побудовано за схемою на рисунку 1

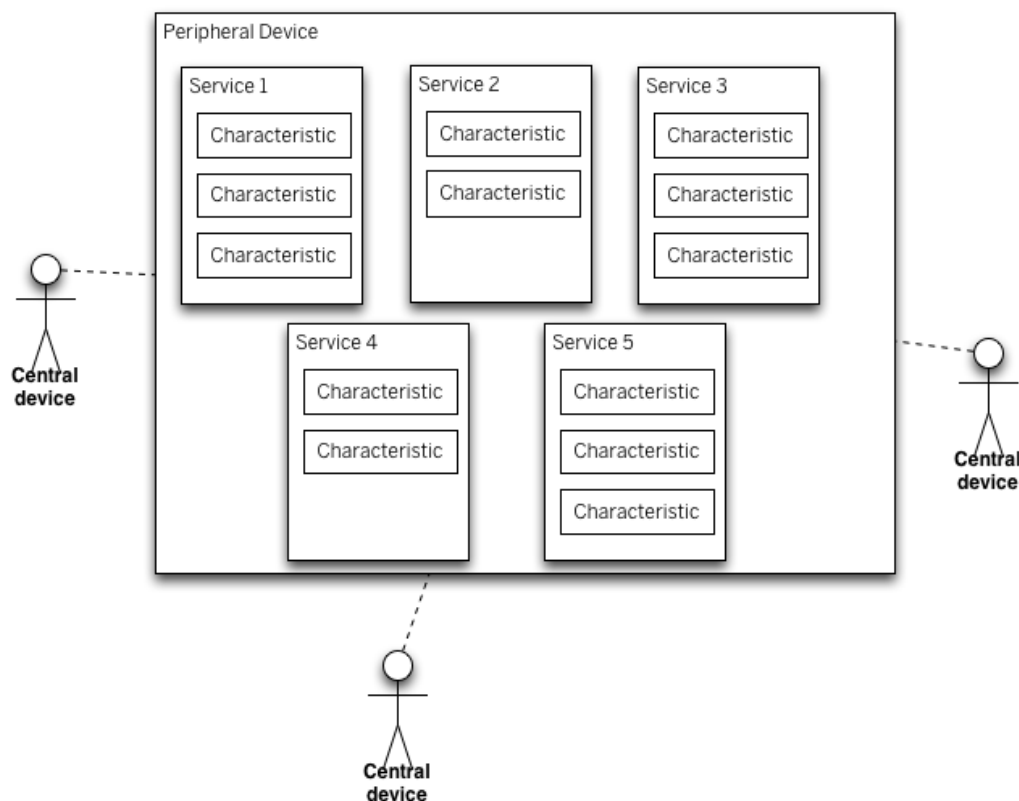


Рис.1. Схема побудови протоколу BLE

Переферійний девайс (в нашому випадку - весло) має певний набір сервісів. Кожен сервіс є групуванням характеристик за певною тематикою. Він включає в себе власне характеристики - окремі гілки даних, які можна зчитувати. Центральні девайси (в нашому випадку - смартфон) під'єднуються до переферійного та зчитують значення його характеристик. Вони можуть зробити це одноразово чи підписатися на постійні оновлення.

Особливістю реалізації "розумного" весла є те, що весло є девайсом публічного користування. Воно не належить певному веслувальнику, а закріплене за човном, і використовуються будь ким, хто побажає розпочати тренування з ним. Ця умова не дозволяє використовувати вбудовану в Bluetooth® функцію парування (pairing), адже ця функція

1. Сповільнює початкове підключення до весла
2. Викликає показ системного діалогу
3. Залишає весло у списку відомих девайсів у смартфоні, що є проблемою для користувачів, які підключаються до великої кількості різних весел і не хочуть потім бачити їх у списку відомих

Окрім цього, хоча функція парування й могла би захистити шифруванням канал обміну даними між смартфоном та веслом, це не вирішує основної проблеми. Як тільки дані надійшли до смартфона, він повинен взяти їх на власний аналіз та відправити на сервер тренування, аби інші могли їх побачити. Але нічого не заважає достатньо компетентному користувачу модифікувати додаток на смартфоні і довільним чином змінювати отримані показання з весла, аби завищувати власні спортивні результати. Окрім цього, ніщо не заважає достатньо компетентному користувачу надіслати на весло адміністративну команду для зміни калібрування чи інших шкідливих дій.

Смартфон користувача виступає проміжним пристроєм у комунікації між веслом та сервером тренування, і цей пристрій не може бути довіреним. Шифрування даних на веслі перед відправленням їх на сервер через смартфон також не є можливим, адже смартфон повинен бачити власне самі дані для їх локального аналізу та виводу в інтерфейс додатку.

Постає завдання створити систему верифікації та автентифікації повідомлень у каналі зв'язку Весло - Смартфон - Сервер таким чином, аби самі дані були повністю відкритим, але підмінити їх на бажані зловмиснику було неможливо. Сервер теж може надсилати деякі команди веслу через смартфон, тож захист повинен працювати в обидві сторони. Оскільки за суттю функціонування додатку деякі функції (наприклад - вібрація весла у відгук на низьке зусилля) повинні працювати миттєво та навіть при відсутності зв'язку з сервером, також потрібно створити систему, що дозволить тимчасово надавати авторитет на виконання веслом певних команд за запитом користувача минаючи етап авторизації через сервер.

Для реалізації поставлених завдань з захисту було створено систему "квитків" (tickets). Квиток являє собою структуру даних, містить в собі набір умов використання (максимальна тривалість дії, максимальна кількість використань, мінімальний проміжок часу між використаннями) та секретний ключ. Під терміном "використання" мається на увазі виконання авторизованої дії за допомогою квитка. Наприклад, для квитка системи вібрації, "використанням" є один виклик функції вібрації. Квиток має функції sign (підписати), derive (наслідувати) та verify (верифікувати). Функція sign приймає аргументом повідомлення (дані, команду тощо) та додає до нього 32-байтовий HMAC-SHA256[4, 5] код верифікації, використовуючи секретний ключ цього квитка. Запобігання replay атак досягається використанням штампу UNIX-часу, що є у кожного повідомлення. Цей штамп дозволяє чітко розуміти, коли було створено повідомлення, а також дозволяє мати абсолютно різні верифікаційні коди для двох в усьому іншому ідентичних повідомлень з ідентичним набором даних.

У системі існує root ticket - кореневий квиток - створений заздалегідь квиток, що має спільний секретний ключ, який є унікальним для кожного весла та записаним у його внутрішню пам'ять. Цей ключ також є в базі даних на сервері, що дозволяє серверу верифікувати дані за допомогою функції verify того самого квитка. Ця функція порівнює самостійно згенерований код верифікації з тим кодом верифікації, що надійшов разом із повідомленням. Якщо повідомлення було змінено смартфоном користувача, він не зможе додати до нього дійсний код верифікації, адже у нього немає спільного секретного ключа сервера та весла, який було використано для накладання оригінального коду. Також ця система дозволяє перевіряти повноваження користувача в коді на сервері, тож, наприклад, якщо неавторизований користувач сформує запит на калібрування весла,

сервер просто відмовиться додавати у цей запит вірний код верифікації, що зробить неможливим його виконання цього запиту веслом та захистить пристрій від несанкціонованих змін налаштувань.

Як було зазначено раніше, у деяких випадках користувачу все ж потрібно надавати тимчасову можливість керувати певними функціями весла без верифікації його запитів сервером. Для цього потрібно створити новий "квиток", який буде відповідати за керування лише певними підсистемами весла, і який додаток користувача зможе використати для самостійного накладання верифікаційних кодів на повідомлення. При цьому, коли смартфон та весло будуть "узгоджувати" створення такого квитка, жодної секретної інформації не повинно бути передано, адже її потенційно може перехопити третя особа. Для створення нового квитка у відповідних умовах використовується механізм "наслідування" (команда *derive*). Сервер генерує команду для створення квитка, що містить операційний код створення, умови користування та штамп часу, накладає верифікаційний код за допомогою спільного секретного ключа з кореневого квитка - та надсилає її крізь смартфон користувача на весло. Також сервер ділиться з користувачем тимчасовим секретом. Весло, використовуючи цю команду, спільний секрет та штамп часу створює новий тимчасовий секрет, попередньо верифікуючи команду за допомогою кореневого квитка. Тепер користувач може використовувати тимчасовий секрет, який надав йому сервер, для самостійного виклику окремих команд за тимчасовим квитком. Якщо комунікацію не було спотворено, то весло наслідує новий тимчасовий секрет, що буде ідентичним тому секрету, яким сервер поділився з користувачем. При цьому жодних секретних даних за відкритою частиною каналу комунікації (зв'язок Смартфон - Сервер захищено HTTPS) не було передано, а була передана лише команда наслідування з параметрами. Оскільки сервер сам встановлює параметри та верифікує їх тим самим методом, що й звичайні повідомлення, у користувача немає можливості їх змінити. Завдяки цьому система безпеки весла розуміє, коли тимчасовий квиток потрібно деактивувати і скільки раз його можна використати. Тимчасовий секрет є дійсним впродовж відносно невеликого проміжку часу (10-15 хв.), тож якщо володар смартфона, на який було надіслано тимчасовий секрет, модифікує додаток та почне використовувати секрет у незапланованих цілях, його дії будуть суворо обмежені повноваженнями тимчасового квитка, які задав сервер, та часом дії цього квитка. У прикладі з вібрацією, якщо додаток буде модифіковано, тимчасовий секрет можна буде використати максимум для "спау" вібраціями впродовж тих хвилин, у які він є дійсним. Жоден інший компонент системи не буде поставлено у ризик.

Маючи систему захисту комунікацій від підроблення, можна переходити до власне змісту комунікацій - показів сенсорів на веслі. Поточна модель весла обладнана наступними сенсорами:

1. Тензодатчик - датчик, що згинається під дією зовнішньої ваги, змінюючи свій електричний спротив. Цю зміну можна виміряти та використати для отримання зусилля, яке докладає веслувальник під час тренування.
2. Гіроскоп - датчик, що має у собі невеликий рухомий елемент, який відхиляється при обертанні. Дозволяє виміряти, з якою кутовою швидкістю обертається пристрій.
3. Акселерометр - датчик, що має у собі невеликий рухомий елемент, який відхиляється при русі. Дозволяє виміряти, з яким прискоренням рухається пристрій.

В таблиці 2 розглянуто особливості кожного з сенсорів.

Ще однією фізичною особливістю використаних тензодатчиків є невелике відхилення від лінійності, яке все ж таки не є бажаним і потребує корегування. Для цього використовується крива з декількох коефіцієнтів множення. Маючи відоме "сире" значення з тензодатчику та компенсуючи базовий зсув, на кривій коефіцієнтів коригування лінійною інтерполяцією вираховується оптимальний коефіцієнт множення саме для цієї ваги, після чого, власне, і рахується сама вага. Така корекція допомагає збільшити точність вимірювань, при цьому уникаючи стрибків показань, які були б можливі на точках "переходу" між різними коефіцієнтами множення, якби не була задіяна лінійна інтерполяція.

Таблиця 2 - Особливості сенсорів, присутніх у веслі

Сенсор	Метод калібрування	Суть калібрування	Комунікація	Стабільність

Тензодатчик	Спокоєм та навантаженням відомою вагою	Виміряти базовий зсув (тара) та коефіцієнт множення (за відомою вагою)	Проміжний АЦП-підсилювач	Шуми ± 10 грамів
Акселерометр	Не потрібне	-	РС	Шуми та накопичення помилки у разі прямого послідовного додавання показів
Гіроскоп	Спокоєм	Визначити швидкість "фантомного обертання", яке вимірює сенсор у спокої		

Ще однією фізичною особливістю використаних тензодатчиків є невелике відхилення від лінійності, яке все ж таки не є бажаним і потребує корегування. Для цього використовується крива з декількох коефіцієнтів множення. Маючи відоме "сире" значення з тензодатчику та компенсуючи базовий зсув, на кривій коефіцієнтів коригування лінійною інтерполяцією вираховується оптимальний коефіцієнт множення саме для цієї ваги, після чого, власне, і рахується сама вага. Така корекція допомагає збільшити точність вимірювань, при цьому уникаючи стрибків показань, які були б можливі на точках "переходу" між різними коефіцієнтами множення, якби не була задіяна лінійна інтерполяція.

Проблемою також є невелика стабільність вимірювань гіроскопа та акселерометра, що не дозволяє просто додавати їх показання з надходженням кожного нового, хоча за фізичним сенсом саме так потрібно і робити - складати прискорення (помножені на дельту часу з попереднього вимірювання), аби отримати швидкість, та швидкості обертання (також помножені на дельту часу з попереднього вимірювання), аби отримати кут, на який обернувся пристрій за проміжок часу. Втім, в реальності для цього існують набагато більш комплексні алгоритми фільтрації та взаємокомпенсування показників, що дозволяють отримати абсолютні кути повороту пристрою. Один з них - complementary filter [6-9] - використовується в даній системі для досягнення результату. Запорукою правильного функціонування системи є часті вимірювання з незмінюваним регулярним проміжком. Вимірювання проводяться з раз на 10 мс, для забезпечення такої великої частоти вимірювань, код цих операцій винесено в окремий потік. Це стає можливим завдяки використанню FreeRTOS [10] - невеликої системи реального часу, що дозволяє виокремити обчислення в окремий потік та раз на 10 мс переривати виконання будь якого іншого коду, оновлювати поворот пристрою і повертатись до основного потоку.

Ще одним вбудованим "сенсором" є вимірювач напруги на вбудованому акумуляторі, що використовується для визначення рівня заряду. Оскільки зміна напруги під час розрядки акумулятора не є лінійною, було виміряно та побудовано криву, яка відображає реальне співвідношення напруги до рівня заряду, що залишився в акумуляторі (рисунок 2). Ця крива використовується для розрахунку реального відсотку заряду весла, аби надавати користувачам та персоналу водної станції розуміння того, скільки днів роботи від нього можна очікувати.

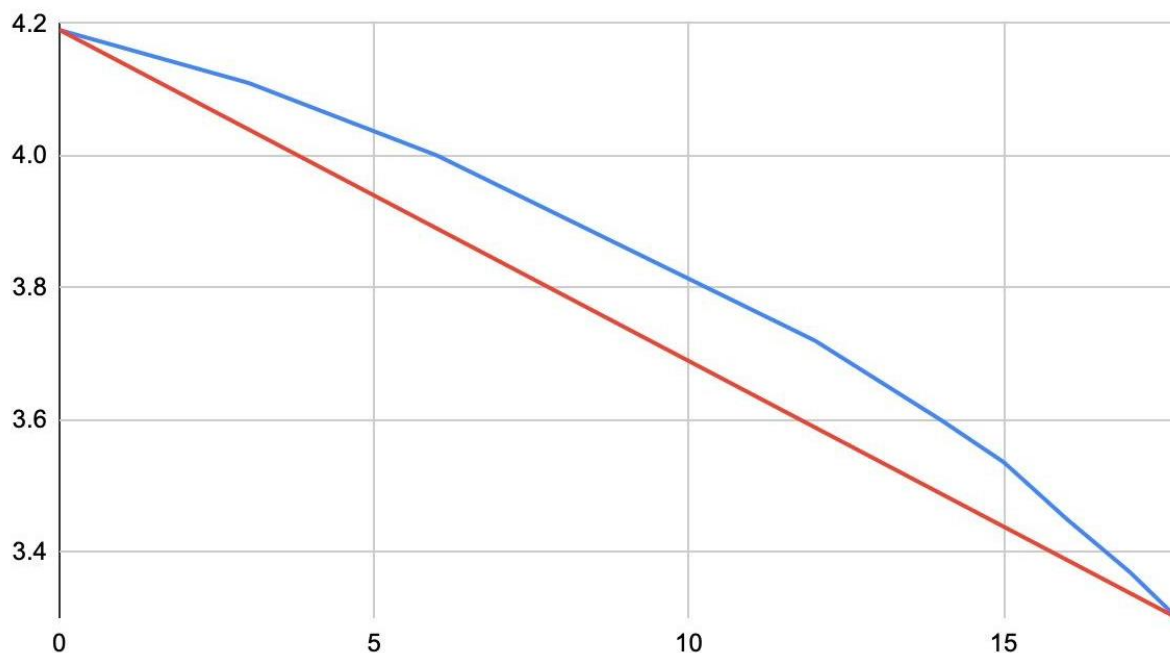


Рис.2. Співвідношення кількості днів (вісь X) безперервного функціонування до напруги на акумуляторі (вісь Y). Синє - реальні вимірювання, червоне - ідеальна пряма

Описані методи роботи з сенсорами дозволяють досягти їх стабільного функціонування у незвичайних для них умовах. Специфіка використання “розумних весел” передбачає їх функціонування у холодній та вологій середі. Також не передбачено регулярне перезарядження акумуляторів пристрою чи регулярне перекалібрування його сенсорів. Для оптимізації енергоспоживання пристрою використовуються наступні програмні методи:

- Інтервал 2 секунди між надсиленням рекламних пакетів весла, коли до нього не під’єднано жодного пристрою (зазвичай, такі інтервали більш притаманні BLE-маячкам, у яких взагалі не передбачено підключення)
- Перехід потоків у режим сну
- Виклик вбудованих у сенсори режимів сну

Висновки та напрямки подальших покращень.

Створено систему, що дозволяє чітко виміряти основні характеристики взаємодії з веслом під час тренування. Пристрій може місяцями працювати від одного заряду батареї, а водонепроникний дизайн робить його стійким до суворих умов навколишнього середовища. Система верифікації даних та авторизації керування веслом дозволяє чітко контролювати його функціонування та протистояти спробам підробки показань, при цьому комунікуючи за частково відкритим каналом.

Подальші покращення необхідно проводити в сфері самотестування сенсорів для виявлення збоїв у їх роботі. Оскільки системі чітко відомо, коли до неї не підключений користувач та коли вона знаходилася у стані спокою впродовж тривалого часу, перебування у стані спокою можна використати для запуску невеликих тестів самоперевірки, що можуть ідентифікувати аномалії у показаннях сенсорів та сповіщати про ці аномалії веслувальників та працівників водної станції.

Список бібліографічного опису

1. “Concept 2 Indoor Rowers” <https://www.concept2.com/indoor-rowers>
2. “Bluetooth® Wireless Technology” <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview>
3. “Lifecell Тариф Гаджет Безпека” <https://www.lifecell.ua/uk/mobilnij-zvyazok/taryfy/gadget-bezpeka>
4. National Institute of Standards and Technology. Secure Hash Standard (SHS). // Information Technology Laboratory. 2015. №180-4 DOI: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.FIPS.180-4>

5. Bellare Mihir, Canetti Ran, Krawczyk Hugo. Message Authentication using Hash Functions—The HMAC Construction. // RSA Laboratories 'CryptoBytes. №2(1). 1996. <https://cseweb.ucsd.edu/~mihir/papers/hmac-cb.pdf>
6. Tae Suk Yoo, Sung Kyung Hong, Hyok Min Yoon. Gain-Scheduled Complementary Filter Design for a MEMS Based Attitude and Heading Reference System // MDPI. 2011, №11(4), С. 3816-3830 DOI: <https://doi.org/10.3390/s110403816>
7. Baerveldt, AJ; Klang, R. A low-cost and low-weight attitude estimation system for an autonomous helicopter // Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems. 15.09.1997. С. 391–395.
8. Demoz, GE. A low-cost GPS/inertial Attitude Heading Reference System (AHRS) for general aviation applications // Proceedings of Position Location and Navigation Symposium. 20.04.1998. С. 518–525.
9. Euston, M; Coote, P; Mahony, R; Kim, J; Hamel, T. A complementary filter for attitude estimation of a fixed-wing UAV // Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 22.09.2008. С. 340–345.
10. "About FreeRTOS Kernel" <https://www.freertos.org/RTOS.html>

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-42>

УДК: 621.391

Радзівілов Григорій Данилович, к.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0002-6047-1897>

Ільїнов Михайло Дмитрович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0009-0008-6945-3354>

Хоменко Павло Володимирович, ад'юнкт

<https://orcid.org/0000-0002-8543-1971>

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТРЬОХЕЛЕМЕНТНОЇ АНТЕНИ - ХВИЛЬОВОГО КАНАЛУ

Радзівілов Г.Д., Ільїнов М.Д., Хоменко П.В. Дослідження функціональних можливостей трьохелементної антени - хвильового каналу. В статті представлені результати досліджень, якими встановлено, що трьохелементна антена хвильовий канал є універсальною антеною, яка може використовуватися для забезпечення різних вимог до зони покриття та коефіцієнта підсилення. В штатному виконанні антена, що складається з активного вібратора, рефлектора та директора - є антеною з діаграмою направленості у формі сектора. Активний вібратор є симетричним петлевым випромінювачем, що забезпечує грозозахист антени. Рефлектор і директор є пасивними вібраторами, які збільшують коефіцієнт підсилення антени. Активний вібратор можна використовувати в якості самостійної антени шляхом його модернізації. При цьому діаграма направленості антени буде квазінаправленою. На основі отриманих результатів встановлено, що ширину діаграми спрямованості в азимутальній площині можна зменшити, розташувавши активний вібратор над циліндричною шоглою на відстані приблизно $\lambda/4$ або $\lambda/8$. На основі проведених досліджень сформовано наступні рекомендації щодо вибору антени ретранслятора транкінгового зв'язку: для забезпечення широкої зони покриття - слід використовувати з вертикальною поляризацією в штатному виконанні; для забезпечення вузької зони покриття - слід використовувати активний вібратор в якості самостійної антени з квазінаправленою діаграмою спрямованості; для підвищення розвідзахисності системи транкінгового зв'язку - слід використовувати з горизонтальною поляризацією.

Ключові слова: антенно-фідерний пристрій, транкінговий зв'язок, базова станція, ретранслятор, діаграма направленості, коефіцієнт підсилення, ширина діаграми направленості, азимутальна площа.

Radzivilov H., Ilyinov M., Khomenko P. Study of the functional possibilities of the three-element wave channel antenna. In the article, a complex of studies was carried out, as a result of which it was established that the three-element antenna wave channel is a universal antenna that can be used to meet various requirements for the coverage area and the amplification factor. In its standard version, is a directional antenna with a directional pattern in the form of a sector. The antenna consists of an active vibrator, a reflector and a director. The active vibrator is a symmetrical loop emitter that provides lightning protection for the antenna. The reflector and director are passive vibrators that increase the gain of the antenna. By elementary modernization, the active vibrator can be used as an independent antenna. At the same time, the directional pattern of the antenna will be quasi-directional. Based on experimental measurements, it was established that the width of the directional diagram in the azimuthal plane can be reduced by placing the active vibrator above the cylindrical mast at a distance of approximately $\lambda/4$ or $\lambda/8$. Based on the conducted research, the following recommendations are offered regarding the use of as a trunking repeater antenna: To ensure a wide area of coverage, you should use with vertical polarization in standard version. To ensure a narrow coverage area, you should use an active vibrator as an independent antenna with a quasi-directional pattern. With horizontal polarization should be used to increase the intelligence protection of the trunking communication system.

Key words: antenna-feeder device, trunk communication, base station, repeater, pattern, gain factor, width of pattern, azimuthal plane.

Постановка наукового завдання.

На сьогоднішній день УКХ радіозв'язок в Збройних силах України організовується з використанням обладнання транкінгового зв'язку, одним з виробників таких радіозасобів є компанії «Motorola». Радіозасоби виробництва компанії «Motorola», в цілому вирішують завдання забезпечення зв'язку як на стоянці, так і в русі, безпосередньо на полі бою. [1]. З метою підвищення зони покриття, зв'язності у радіомережах з командирами підпорядкованих військових частин та підрозділів передбачено роботу ретрансляторів.

Антенні пристрої, які використовуються на ретрансляторах (базових станціях), як правило мають забезпечувати ненаправлене випромінювання у горизонтальній площині. Тому робота, яка присвячена розробці пропозицій по удосконаленню антенних пристроїв ретрансляторів систем транкінгового зв'язку, які використовуються в тактичній ланці управління Збройних Сил України, є актуальною та має важливе практичне значення.

Таким чином **актуальність** даної тематики обумовлена необхідністю розробки нових технічних рішень для створення багатофункціональних, ефективних, надійних антено-фідерних пристроїв для систем зв'язку з рухомими об'єктами у Збройних Силах України.

Метою роботи є розробка пропозицій по удосконаленню антенних пристроїв ретрансляторів систем транкінгового зв'язку, за рахунок використання антени хвильовий канал.

Об'єктом дослідження є процеси формування діаграми направленості (ДН) в антенно-фідерних пристроїв ретрансляторів. Відповідно, **предмет дослідження** – науково методичний апарат дослідження антен УКХ діапазону типу антена хвильовий канал.

Основними завданнями статті є наступні:

1) аналіз електричних характеристики антенно-фідерних пристроїв ретрансляторів УКХ діапазону;

2) на основі функціональних можливостей антенно-фідерних пристроїв розробити пропозиції по модернізації антен ретрансляторів транкінгового зв'язку з цілю підвищення ефективності роботи системи мобільного радіозв'язку.

Аналіз останніх публікацій.

В роботі [4] обґрунтовується необхідність підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку. У роботі [2] розглянуті питання підвищення ефективності систем транкінгового зв'язку за рахунок використання антен з поліпшеними характеристиками, в яких наводяться порівняння електричних характеристик різних типів антен. У роботі [3] пропонується вибір оптимального рішення по вибору антен для систем транкінгового зв'язку, але не враховуються варіанти модернізації штатних антен.

Виклад основного матеріалу.

Постановка задачі.

Транкінгові системи (англ. Trunking – об'єднання в пучок) – радіально-зонові системи зв'язку, що здійснюють автоматичний розподіл каналів зв'язку між абонентами. Під терміном „транкінг” розуміють метод доступу абонентів до загального виділеного числа (пучка) каналів, при якому вільний канал виділяється абоненту на час сеансу зв'язку.

Основними елементами системи транкінгового зв'язку є ретранслятор (один або декілька) та абонентські станції (автомобільні та портативні). Ретранслятор – прийомо-передавач, який має більшу потужність та більш ефективну антену (антени), ніж абонентські станції. Він приймає сигнал абонентської станції на частоті F1, підсилює його і передає кореспонденту на іншій частоті – F2. [7]

Дальність зв'язку (зона покриття ретранслятора) залежить від місцевості (рельєфу та щільності забудови), розміщення ретранслятора, його антенно-фідерного тракту тощо. Крім того антени ретранслятора мають забезпечувати задану конфігурацію зони покриття, що особливо важливо, коли позиція військ знаходиться в безпосередній близькості від противника.[5]

В комплект антенно-фідерних пристроїв ретранслятора входять три антени ненаправленого типу (по одному комплекту) і два комплекти антен направленої типу

Антени ненаправленого типу:

1. АШ – h, h = – вертикальних несиметричних вібраторів (штирьові антени) з магнітною основою при використанні їх в якості автомобільних антен та штирьових випромінювачів, що розгортаються на щоглі з обов'язковим використанням радіальних або похилих противаг, довжина яких повинна бути трохи більше довжини випромінювання провідника вертикального несиметричного вібратора (штирьова антена) з магнітною основою.[6];

2. J - подібна антена, що представляє собою звичайний вертикальний напівхвильовий несиметричний вібратор з торцевих збудженням, переваги якої є:

- по-перше, грозозахист;
- по-друге, менший кут піднесення ДН над поверхнею Землі;
- по-третє, менший вплив підстильної поверхні на характеристики антени.

3. Колінеарна антена послідовного типу, основною перевагою якої є підвищений коефіцієнт підсилення

На рис. 1 показані антени з ненаправленим випромінювачем в азимутальній площині:

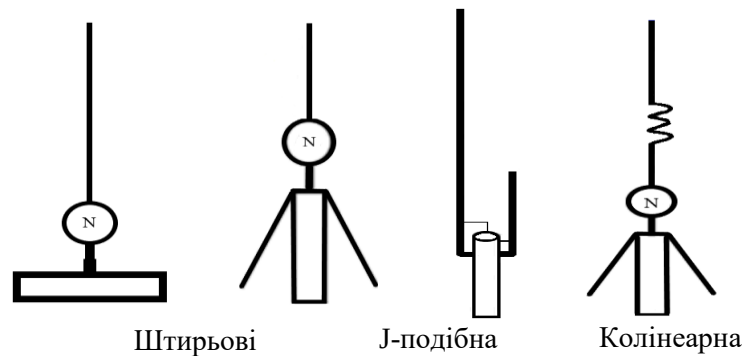


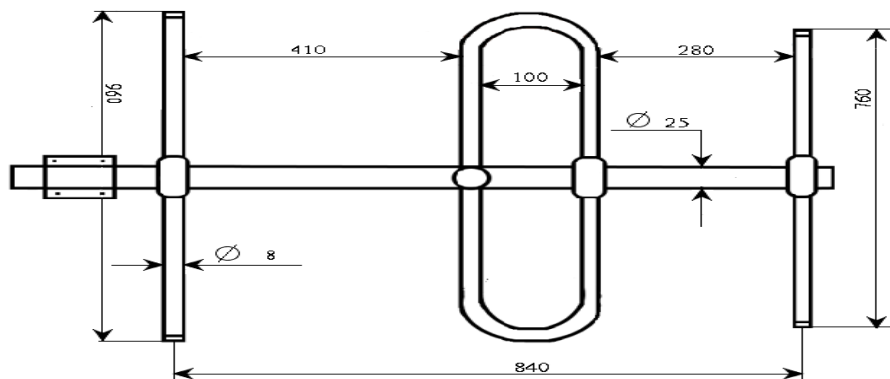
Рис.1. Антени з ненаправленими випромінювачами в азимутальній площині

Антенні направленої типу:

В якості антени направленої типу в ретрансляторах УКХ діапазону використовується трьохелементна антена хвильовий канал де: N-число вібраторів в антені; f-робоча частота або смуга робочих частот.

Антенна призначена для забезпечення направленої випромінювання поля на кореспондента і організації радіозв'язку на далекі відстані. До складу ретранслятора входять два комплекти, дільник потужності коаксіального типу, що дозволяє розширити можливості ретрансляторів УКХ діапазону при організації мобільного радіозв'язку в тактичній ланці управління Збройних Сил України.[4]

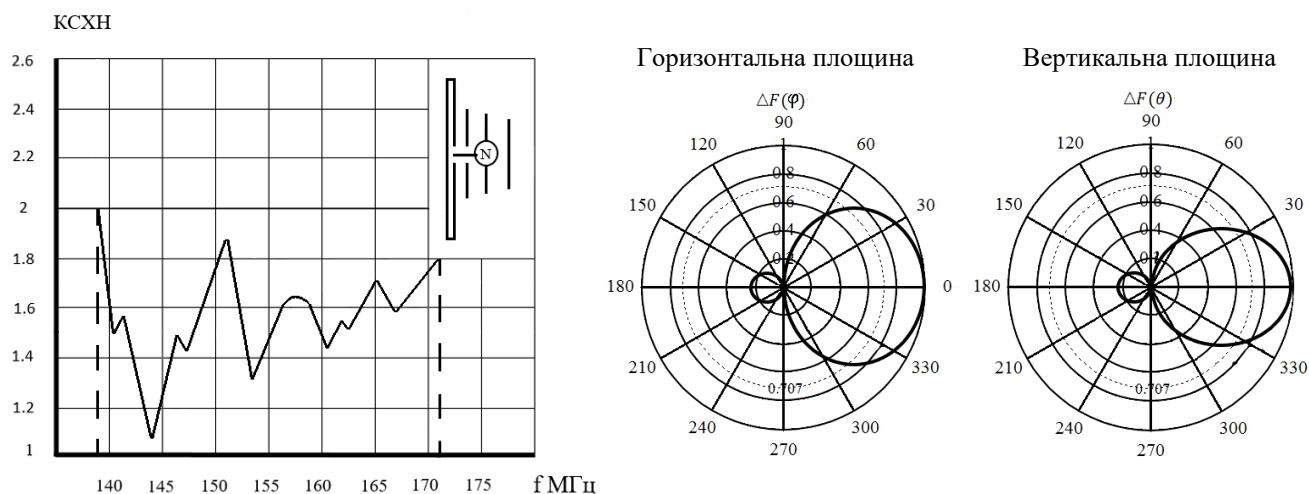
Направлена антена УКХ діапазону Конструкція направленої антени у вигляді трьохелементної антени хвильовий канал представлена на рис. 2. Антенна виконана на металевому траверсі, в якості активного вібратора використовують симетричний петлевий випромінювач (вібратор Пістолькорса А.А.), що забезпечує грозозахист антени і всієї апаратури в цілому. Живлення антени здійснюється коаксіальним кабелем з хвильовим опором 50 Ом, який прокладений в одному з плечей активного вібратора, що дозволяє виключити з конструкції антени симетруючий пристрій.

Рис. 2. Конструкція трьохелементної антени хвильовий канал ($AXK - \frac{N}{f}$)

Вузол кріплення антени до щогли забезпечує її використання як з вертикальною так і з горизонтальною поляризацією випромінюючого поля. Пасивні вібратори (рефлектор і директор) встановлюються в робочі положення відповідно міткам нанесених на траверсі. При установці антени хвильовий канал на щоглі необхідно додатковий коаксіальний фідер певної довжини і сувора орієнтація антени на кореспондента.

Функціональні можливості антени хвильовий канал по формуванню поля випромінювання в азимутальній площині. Наявність в комплектації ретрансляторів УКХ діапазону двох типів антен різних за призначенням і конструкції дозволяє за рахунок їх незначної модернізації розширити функціональні можливості антено-фідерного парку ретранслятора по формуванню ДН в азимутальній площині різної конфігурації відповідно вимог до системи транкінгового зв'язку в реальних умовах.

Антенна хвильовий канал з вертикальною поляризацією. Внутрішні (експериментальні) і зовнішні (теоретичні) електричні характеристики трьохелементної антени хвильового канал з вертикальною поляризацією випромінюваного поля показані на рис.3.



$G = 7 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис. 3. Електричні характеристики активного вібратора над трубою діаметром 55 мм

Як показують результати дослідження антена забезпечує роботу в смузі частот 140....170 [МГц] з коефіцієнтом підсилення $G = 7 \text{ dBi}$ відносно ізотропного випромінювача. Діаграма направленості в двох ортогональних площинах має секторіальну форму і по ширині складає в азимутальній площині і в меридіальній площині.

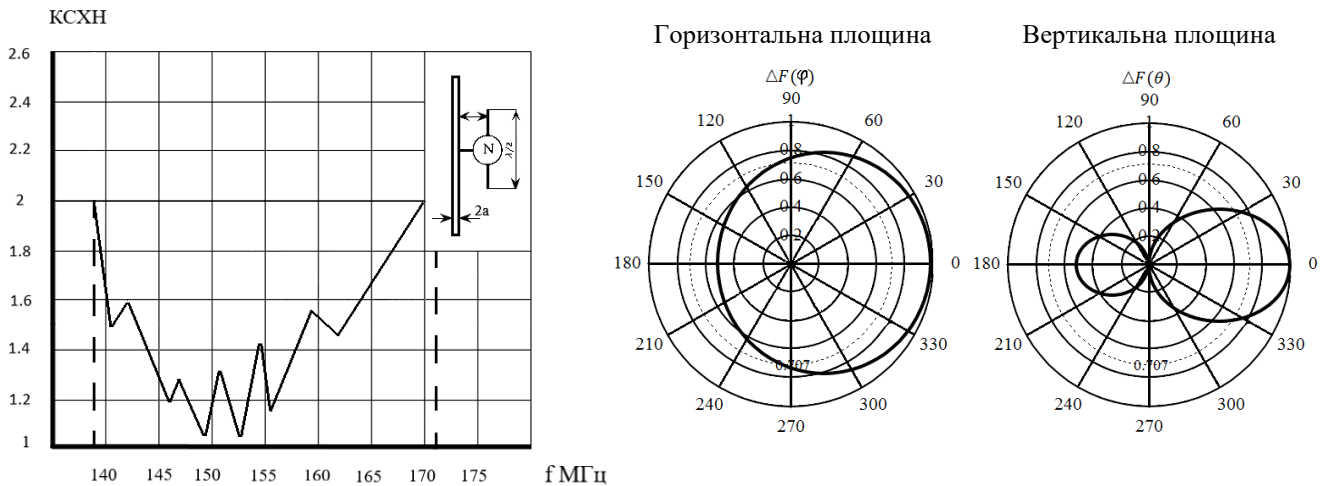
Функціональні можливості антени хвильовий канал. Експериментальні дослідження внутрішніх характеристик антени хвильовий канал показали, що виключення з конструкції антени двох пасивних вібраторів (рефлектора і директора) не порушує істотно роботу активного вібратора, що підтверджується значенням КСХН - коефіцієнтом стоячої хвилі по напрузі на вході коаксіального фідера в діапазоні частот, 140....170 [МГц] значення якого було отримано експериментальними вимірами. Отже, активний вібратор антени хвильовий канал можна використовувати в якості самостійної антени. Розміщуючи активний вібратор над циліндричною щоглою на відстані від її поверхні, можна забезпечити квазінаправлене випромінювання поля в азимутальній площині з шириною ДН. Результати експериментального і теоретичного дослідження активного вібратора, встановленого над щоглою показані на рис. 4.



$G = 4 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис. 4. Електричні характеристики активного вібратора над трубою діаметром 55 мм на відстані $h=500\text{мм}$

Результати проведених досліджень наочно показують, що шляхом елементарної модернізації спрямованої антени можна перейти від секторіальної ДН до квазінаправленої в азимутальній площині. Електричні характеристики вібратора над циліндричною поверхнею можна істотно поліпшити за узгодженням фідера з антеною, якщо активний вібратор розмістити на відстані $h=500\text{мм}$ ($h \approx \frac{\lambda}{8}$) від поверхні щогли, результати представлені на рис. 5

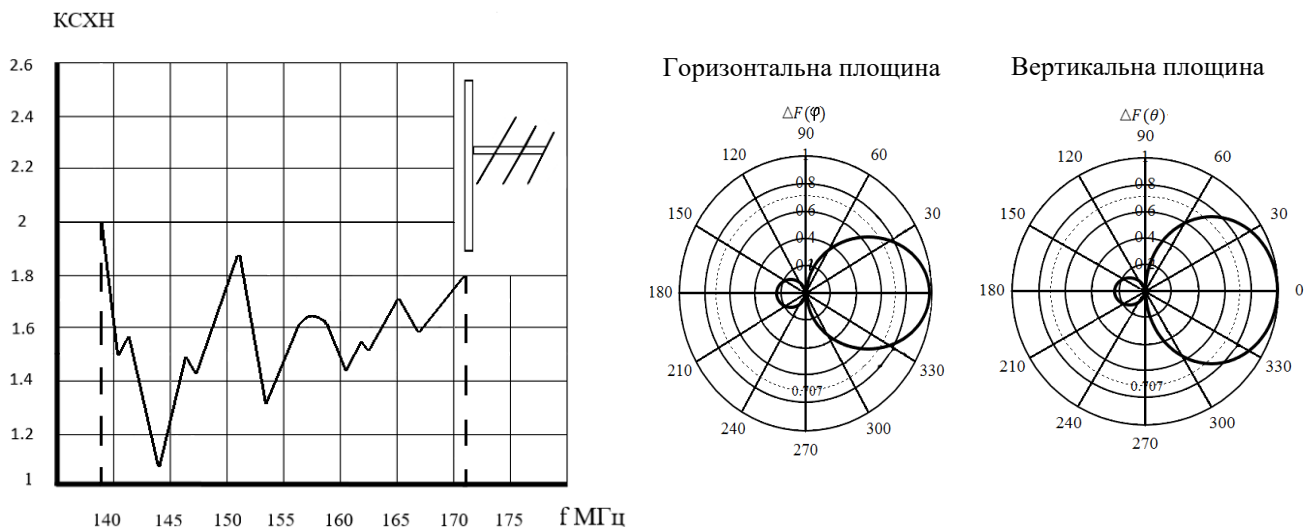


$G = 5 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис 5. Електричні характеристики активного вібратора над трубою діаметром 55 мм на відстані $h=250\text{мм}$ ($h \approx \frac{\lambda}{8}$)

При розташуванні активного вібратора на відстані приблизно ($h \approx \frac{\lambda}{8}$) від поверхні щогли ширина ДН в азимутальній площині зменшується до, а коефіцієнт підсилення збільшується до 5 dBi.

Антенна хвильовий канал з горизонтальною поляризацією. Для зменшення впливу рівня промислових перешкод на транкінговий радіозв'язок для організації зв'язку в радіонапрямах, спрямовану антену доцільно використовувати з горизонтальною поляризацією, вузол кріплення до щогли дозволяє її використовувати як з вертикальною, так і з горизонтальною поляризацією випромінюваного поля. Параметри антени хвильовий канал з горизонтальною поляризацією показані на рис. 6.



$G = 7 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис 6. Електричні характеристики трьохелементної антени хвильовий канал з горизонтальною поляризацією

Відмінною особливістю спрямованої антени в режимі горизонтальної поляризації є зменшення ширини ДН в азимутальній площині до 66 градусів, що дозволяє не тільки поліпшити надійність мобільного радіозв'язку, але і підвищити розвідзахищеність системи в цілому.

Антенa з двопелюстковими діаграми направленості (антенa Януса). Антенa направленогo типу (відноситься до класу коротких антен хвильовий канал). У зв'язку з цим її коефіцієнт захисної дії (КЗД) становить приблизно 14 dBi. Ця обставина вказує на те, що антенa має порівняно велике бокове і заднє випромінювання. Дві антени діаметрально розташованих на одній мачті з синфазним порушенням випромінюючих елементів формують в азимутальній площині квазінаправлене випромінювання. Ширина ДН кожної пелюстки становить 96 градусів, максимальний коефіцієнт нерівномірності в напрямку перпендикулярному осі антен становить - 8 dBi. Антени з діаметрально розташованими ідентичними випромінювачами в технічній літературі по антенній техніці зветься «антени Януса». На рис. 7 представлені результати теоретичного аналізу антени з двопелюстковою ДН.

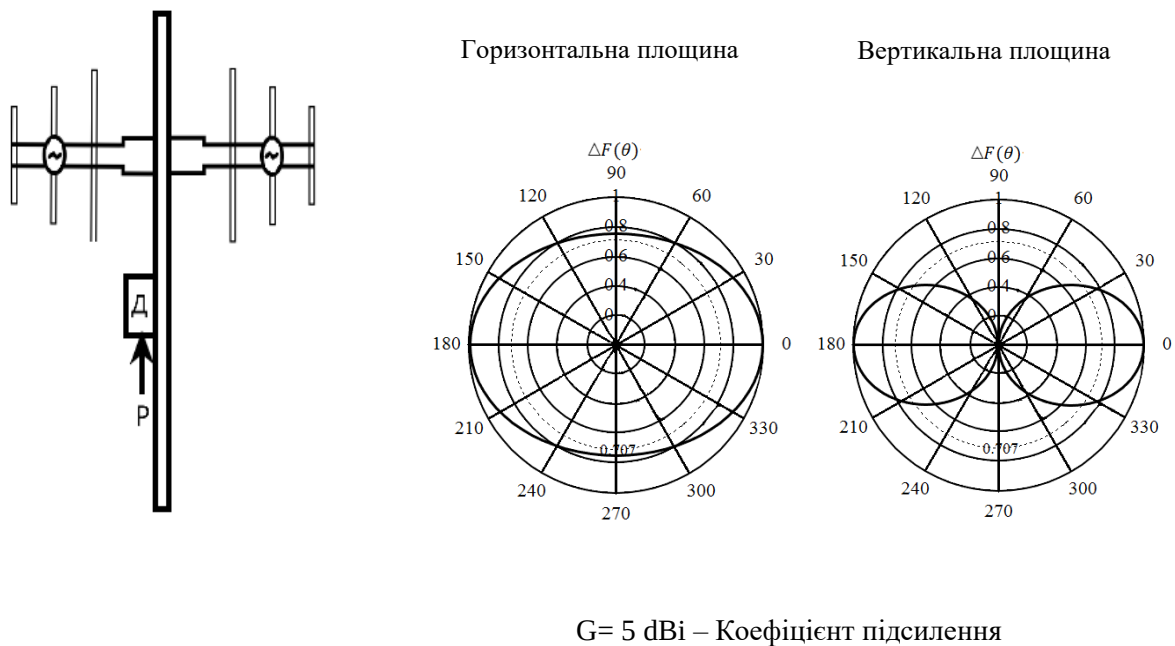
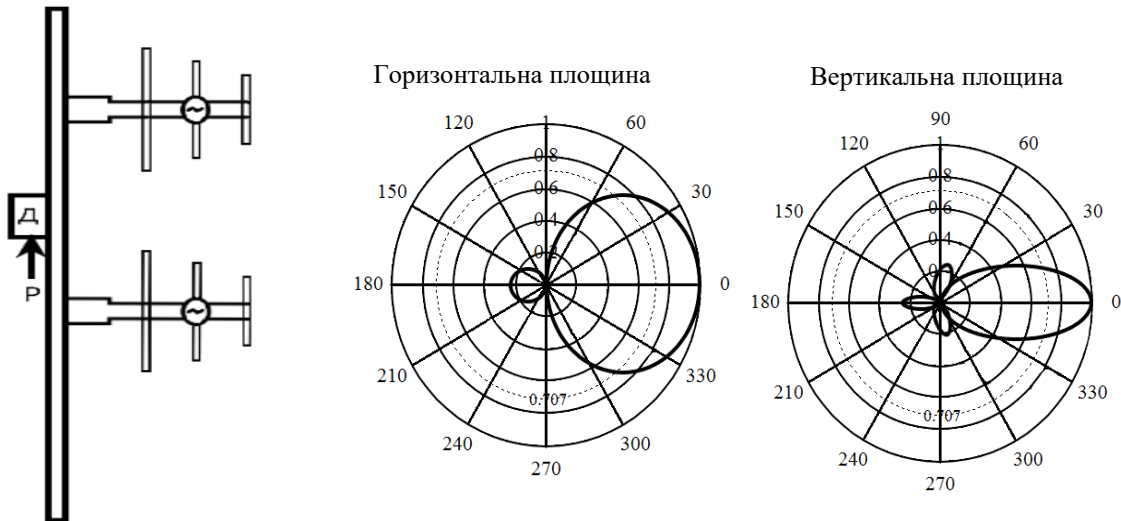


Рис. 7. Електричні характеристики антени з двопелюстковою діаграмою направленості

Синфазне збудження випромінювачів здійснюється за допомогою дільника потужності, виконуючи на відрізках коаксіальних ліній (четвертьхвильовий трансформатор), вихідні плечі якого не мають ніякого відношення один до одного.

Двоелементна антенa решітка з вертикальною поляризацією. Для збільшення енергетичного потенціалу на радіолінії при організації зв'язку в радіонапрямах і зменшення впливу радіоперешкод з боку супротивника доцільно використовувати два комплекти спрямованих антен у вигляді синфазної лінійної антенної решітки, яка представлена на рис.8. Відстань між елементами вибирається з умови: $d = 0.85 \lambda$, де: λ - довжина хвилі робочого діапазону.



$G = 10 \text{ dBi}$ – Коефіцієнт підсилення

Рис. 8. Електричні характеристики двоелементної антенної решітки

Двоелементна антенна решітка дозволяє збільшити коефіцієнт підсилення до $G=10 \text{ dBi}$, зменшити ширину ДН у вертикальній площині до 36 градусів та здійснити нахил ДН у вертикальній площині, як показано на рис. 9



Рис. 9. Діаграма направленості синфазної антенної решітки.

Реалізація амплітудно-фазового розподілу струмів в випромінювачі антенної решітки може бути виконана або на відрізках коаксіальних ліній в схемі живлення або за рахунок застосування фазообертачів.[4]

Антенна решітка з кардіоїдною діаграмою направленості в азимутальній площині. Антену у вигляді двох діаметрально розташованих щодо щогли випромінювачів (антену Януса) можна модернізувати, якщо випромінювачі розташувати під деяким кутом один до другого. Результати теоретичного аналізу такої антени показані на рис.10.

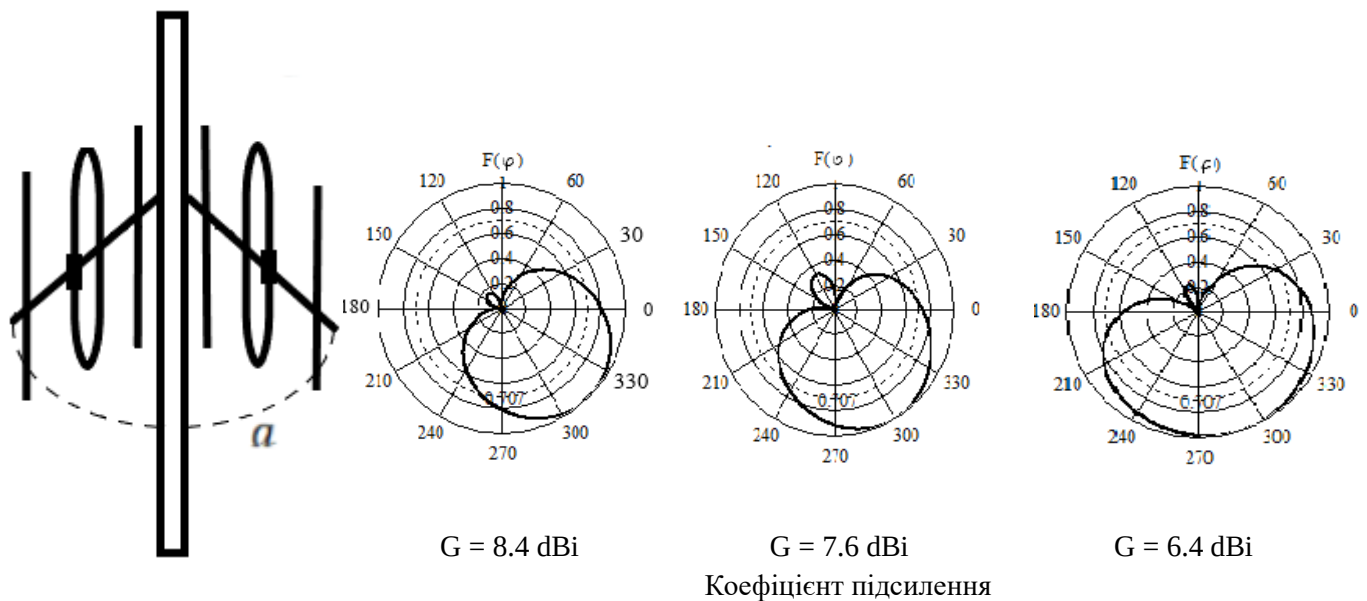


Рис. 10. Антена решітка з кардіоїдною діаграмою направленості.

Антенний пристрій зі секторіальною діаграмою направленості, представлений на рис. 10, в порівнянні з антенами не направленої типу він дозволяє збільшити енергетичний потенціал мережі радіозв'язку, а отже підвищити розвідзахищеність ретранслятора, як основного елемента мобільного транкінгового радіозв'язку.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Модернізація антенного пристрою ретрансляторів транкінгового зв'язку, яка полягає у застосуванні антени хвильовий канал, дозволяє реалізувати більш жорсткі вимоги до розвідзахищеності, формування зон радіопокриття та електромагнітної сумісності для систем транкінгового зв'язку в тактичній ланці управління Збройних Сил України.

Отже, перспективним напрямком підвищення ефективності функціонування мереж транкінгового зв'язку є застосування антени хвильовий канал, що дозволить формувати в азимутальній площині секторіальне і квазінаправлене випромінювання.

Пріоритетними напрямками подальших досліджень є наступне:

- проведення теоретичних та практичних досліджень з метою підвищення коефіцієнту захисної дії, що визначає розвідзахищеність антенно-фідерного пристрою в цілому;
- оцінка електричних характеристик антени хвильовий канал на різних ділянках діапазону частотного спектру і можливості їх технічної реалізації.

Список бібліографічного опису

1. Кувшинов О.В., Гурський Т.Г., Гриценко К.М., Шишацький А.В. Аналіз режимів роботи та перспектив бойового застосування сучасних військових укх радіостанцій іноземного виробництва // Збірник наукових праць ВІТІ № 1 – 2018. – С. 43 – 50.
2. Ільїнов М.Д., Бондаренко Л.О., Лубенець О.М., Шацкий І.О. Антенно-фідерні пристрої ретрансляторів мереж транкінгового зв'язку в збройних силах України // Збірник наукових праць ВІТІ № 2 – 2017– С. 27 – 34.
3. Борисов І.В., Гурський Т.Г., Ільїнов М.Д., Гриценко К.М. Підвищення ефективності функціонування систем радіозв'язку за рахунок використання адаптивних антенних решіток // Збірник наукових праць ВІТІ № 1 – 2015– С. 16 – 24.
4. Вендик О.Г., Калинин С.А., Козлов Д.С. Фазированная антенная решетка с управляемой формой диаграммы направленности. Журнал технической физики. Спб.: ЛЭТИ, 2013. Т 83, вып. 10.
5. Збірник матеріалів науково-практичної конференції "Уроки "гібридної війни": воєнні аспекти" (частина І) // ГШ ЗСУ, 2016. 186 с.
6. Бурляй І.В. Дослідження характеристик антенно-фідерних пристроїв системи радіозв'язку оперативно-рятувальної служби. ЧПБ № 9 – 2006– С. 53 – 58.
7. Шолудько В.Г., Єсаулов М.Ю., Вакуленко О.В., Гурський Т.Г., Фомін М.М. Організація військового зв'язку Навчальний посібник. – К.: ВІТІ, 2017 р. – 282 с.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-43>

УДК 681.3.05:004.056

Розломій Інна Олександрівна, к.т.н., старш. викладач<https://orcid.org/0000-0001-5065-9004>**Косенюк Григорій Володимирович**, к.т.н., доцент<https://orcid.org/0000-0003-2103-3904>**Науменко Сергій Васильович**, аспірант<https://orcid.org/0000-0002-6337-1605>**Михайловський Павло Васильович**, аспірант<https://orcid.org/0009-0008-4324-1724>

Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ДАТЧИКІВ НА БАЗІ МІКРОКОНТРОЛЕРА В ІГРОВІЙ СИМУЛЯЦІЇ «СМАРТ-БУДИНОК» З ВИКОРИСТАННЯМ ШИФРУВАННЯ ДАНИХ

Розломій І.О., Косенюк Г.В., Науменко С.В., Михайловський П.В. Моделювання системи датчиків на базі мікроконтролера в ігровій симуляції «смайт-будинок» з використанням шифрування даних. Стаття описує процес розробки моделі системи датчиків, що заснована на мікроконтролері, здатної симулювати роботу «смайт-будинку». Технологія «смайт-будинку» стає все більш актуальною, оскільки забезпечує зручність та безпеку життя в приватному будинку або офісі. Із застосуванням датчиків, мікроконтролерів та інших пристроїв можливо автоматизувати процеси, що забезпечують комфорт, енергозбереження та зниження ризику аварійних ситуацій. Особлива увага приділяється використанню вбудованого модуля шифрування, що дозволяє захистити дані, що надходять з датчиків від несанкціонованого доступу. В сучасному світі зростає популярність розумних будинків та їх інтеграція з інтернетом речей. Однак, збільшення кількості підключених пристроїв та передача великого обсягу приватних даних ставлять під загрозу безпеку цих систем. У цьому контексті використання шифрування даних стає ключовим елементом для забезпечення конфіденційності та цілісності інформації. Дана стаття присвячена моделюванню системи датчиків на базі мікроконтролера для ігрової симуляції «смайт-будинок» та акцентує увагу на використанні вбудованого модуля шифрування. Застосування цього модуля дозволяє ефективно захищати дані, що надходять з датчиків, від несанкціонованого доступу. У статті розглядаються різні аспекти моделювання системи датчиків, включаючи вибір підходів до інтеграції мікроконтролера, розробку алгоритмів збору та обробки даних, а також використання шифрування для захисту інформації. Захист даних, отриманих з датчиків, стає надзвичайно важливим аспектом, і саме тому використання шифрування є ключовим елементом для забезпечення конфіденційності та цілісності інформації. Результати дослідження підтверджують ефективність використання вбудованого модуля шифрування в контексті «смайт-будинку» та його здатність забезпечувати безпеку даних, що передаються в систему.

Ключові слова: смайт-будинок, мікроконтролер Arduino, захист інформації, шифрування, ідентифікація, ігрова симуляція, ігровий рушій Unity.

Rozlomi I., Kosenyuk H., Naumenko S., Mikhailovsky P. Modeling a microcontroller-based sensor system in the game simulation «Smart-Home» using data encryption. The article describes the process of developing a model of a sensor system based on a microcontroller capable of simulating the operation of a «Smart Home». «Smart home» technology is becoming more and more relevant, as it provides convenience and safety of life in a private home or office. With the use of sensors, microcontrollers and other devices, it is possible to automate processes that provide comfort, energy savings and reduce the risk of emergency situations. Special attention is paid to the use of the built-in encryption module, which allows you to protect the data coming from the sensors from unauthorized access. In today's world, the popularity of smart homes and their integration with the Internet of Things is growing. However, the increase in the number of connected devices and the transfer of a large amount of private data puts the security of these systems at risk. In this context, the use of data encryption becomes a key element to ensure the confidentiality and integrity of information. This article is devoted to the modeling of a microcontroller-based sensor system for the game simulation «Smart Home» and focuses on the use of the built-in encryption module. The use of this module allows you to effectively protect the data coming from the sensors from unauthorized access. The article discusses various aspects of sensor system modeling, including the choice of microcontroller integration approaches, the development of data acquisition and processing algorithms, and the use of encryption to protect information. The protection of sensor data is becoming an extremely important aspect, and that is why the use of encryption is a key element to ensure the confidentiality and integrity of the information. The results of the study confirm the effectiveness of using the built-in encryption module in the context of the «Smart Home» and its ability to ensure the security of data transmitted to the system.

Key words: smart home, Arduino microcontroller, information security, encryption, identification, game simulation, Unity game engine.

Постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Популярність домашньої автоматизації значно зросла в останні роки через більш високу доступність і простоту. Маючи можливість контролювати аспекти наших будинків і мати можливість автоматично реагувати на події, система стає все більш популярною і необхідною через міркування безпеки і затрат. Таким чином, «смайт-будинки» призначені забезпечити безпеку

будинку, захистити від будь-яких надзвичайних ситуацій [1]. Система безпеки «розумного дому» має насамперед виконувати функції захисту від вторгнення сторонніх осіб, автоматизації дверей, воріт, охоронної сигналізації, запобігання аварійним ситуаціям. У разі будь-якого займання або задимлення спрацює пожежна сигналізація. Про протікання води чи підвищеному рівні вологості система відразу повідомить господаря та відповідні служби.

Актуальність технології «смарт-будинок» полягає в її можливості забезпечувати комфорт та безпеку мешканців, а також економію енергоресурсів. Завдяки системі керування, користувач може контролювати пристрої в будинку з будь-якого місця та в будь-який час, що дозволяє забезпечити безпеку та зручність. Крім того, використання технології «смарт-будинок» дозволяє значно зменшити споживання електроенергії та інших ресурсів, що є важливим аспектом екології та сталого розвитку. Система «смарт-будинок» може включати в себе різноманітні пристрої, такі як датчики відкриття вікон, дверей та руху, камери спостереження, системи опалення та кондиціонування повітря, освітлення та інше [2-3]. Всі ці пристрої можуть бути підключені до однієї системи керування, що дозволяє забезпечити їх взаємодію та координацію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Системи «смарт-будинок» стають все більш популярними, що вимагає забезпечення їх надійності та безпеки. З розвитком технологій «смарт-будинків» та інтернету речей, стає все більш очевидним значення створення безпечних та захищених систем збору та передачі даних. У таких системах, датчики відіграють ключову роль, забезпечуючи збір різноманітної інформації про оточуюче середовище та стан пристроїв у будинку. Однак, із збільшенням обсягу даних, котрі надходять з датчиків, виникає необхідність в їхньому надійному захисті від несанкціонованого доступу [4-6].

Інтерес науковців до захисту даних з датчиків систем «смарт-будинку» обумовлений зростаючою популярністю та поширеністю цих систем в сучасному житті. Завдяки «смарт-будинкам» користувачі можуть зручно керувати різними аспектами своїх домівок, такими як освітлення, опалення, безпека та енергоефективність, за допомогою мобільних пристроїв чи голосових асистентів [7].

Однак, збільшення кількості підключених пристроїв та обмін даними між ними створює нові виклики щодо захисту приватності та безпеки. Науковці [8, 11] виявляють інтерес до захисту цих даних, розробляючи криптографічні рішення та алгоритми шифрування, які забезпечують конфіденційність, цілісність та аутентичність інформації. Вони досліджують методи аутентифікації та авторизації, застосовуючи різні протоколи та механізми для забезпечення безпеки комунікацій та обміну даними в «смарт-будинках».

Вирішення проблеми довіри між мережею кожен та блок керування шляхом використання короткого маркера автентифікації із встановленням безпечного ключа сеансу представлено в роботі [9]. Запропонована схема дозволяє уникнути різноманітних популярних атакам, таким як атаки на відмову в обслуговуванні та атаки підслуховування.

Авторами [10] висвітлено різні вразливості безпеки розумних будинків на основі IoT, представити ризики для мешканців будинку та запропонувати підходи до пом'якшення виявлених ризиків. Результати дослідження можуть бути використані як основа для покращення вимог до безпеки розумних будинків на основі IoT.

Метою статті є дослідження особливостей побудови ефективної моделі системи датчиків для ігрової симуляції «смарт-будинок», що базується на мікроконтролері та використання вбудованого модуля шифрування для захисту надійності даних, отриманих з різних датчиків. Розглядається важливий аспект безпеки даних – використання вбудованого модуля шифрування. Його застосування дозволяє надійно захистити дані, що надходять з датчиків, та забезпечити конфіденційність і цілісність інформації, що передається у систему.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Система розумного дому передбачає автоматичне керування електронними пристроями в будинку, які підключені до Інтернету, що дозволяє дистанційно управляти ними. Крім стандартних функцій, таких як увімкнення опалення та охолодження, системи «смарт-будинків» також підвищують безпеку за допомогою камер, датчиків руху та датчиків вогню. Ці системи працюють через мережу пристроїв, які використовують різні протоколи зв'язку, такі як Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee. Керування пристроями може здійснюватися дистанційно за допомогою контролерів, голосових помічників або додатків. Багато пристроїв мають вбудовані датчики, які відстежують зміни в русі, температурі та освітленні, щоб користувач мав змогу отримувати інформацію про

навколишнє середовище.

Домашня автоматизація має значну перевагу в тому, що вона надає власникам будинків спокій, дозволяючи їм дистанційно контролювати своє житло і запобігати ризикам, таким як забуті кавоварки, незамкнені двері, відкриті вікна або залишена увімкненою праска [11]. Однак, наявні й певні недоліки використання систем «смарт-будинків», зокрема, проблеми з безпекою та захищеністю даних користувачів, але з роками протоколи безпеки постійно вдосконалюються, зробивши ці технології все більш безпечними.

Сучасні інструменти для симуляції, зокрема, графічний двигун Unity, дозволяють моделювати складні системи, такі як «смарт-будинки», з різними датчиками, реле, мікроконтролерами та іншими пристроями. У симуляції «смарт-будинку» на базі мікроконтролера можуть бути підключені датчики вогню, води, дверей та вікон. Цей підхід дозволяє моделювати різні сценарії, такі як пожежа, протікання води, відкриті двері або вікна, що відображають поведінку системи у реальному часі.

Система датчиків смарт-будинку повинна мати модуль реєстрації та авторизації користувача для збереження даних і налаштувань. Вона повинна бути під'язана до сервісу збереження базових даних, таких як електронна пошта та пароль, а також модель даних налаштувань. Користувачам має бути надана можливість відновлення паролю через електронну пошту. Система повинна мати зручний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для налаштувань, включаючи окреме налаштування датчиків, інформувань і особистого профілю. Користувачі повинні отримувати Push-повідомлення та повідомлення на електронну пошту. Датчики моніторингу мають інформувати користувача миттєво, якщо відхиляються встановлені норми. Система повинна містити датчики для контролю рівня води, температури, вологості та вогню. Для демонстрації роботи системи розробляється симуляція будинку, що відтворює надзвичайні ситуації, які викликають відповідні служби для усунення проблем.

Для функціонування системи потрібні наступні пристрої: пристрій на базі мікроконтролера для підключення датчиків та зв'язку з ігровою симуляцією, датчик вогню, датчик температури та вологості, датчик рівня води і датчик для виявлення проникнення у будинок. Для демонстрації роботи системи використовується простий елемент – кнопка, підключену до мікроконтролера.

При спрацьовуванні датчика в системі, дані передаються на контролер. Контролер обробляє цю інформацію за допомогою програмного коду, вбудованого у прошивку. Після обробки дані надсилаються до додатку, який відтворює симуляцію смарт-будинку. Симуляція враховує користувацькі налаштування та візуалізує надзвичайні ситуації, такі як пожежа, затоплення або підвищений рівень вологості.

Пристрій складається з датчиків, підключених до мікроконтролера. У якості управляючого елемента пристрою використано плату Arduino Uno R3, до котрої підключені датчики води, вогню, температури та вологості, рис. 1.

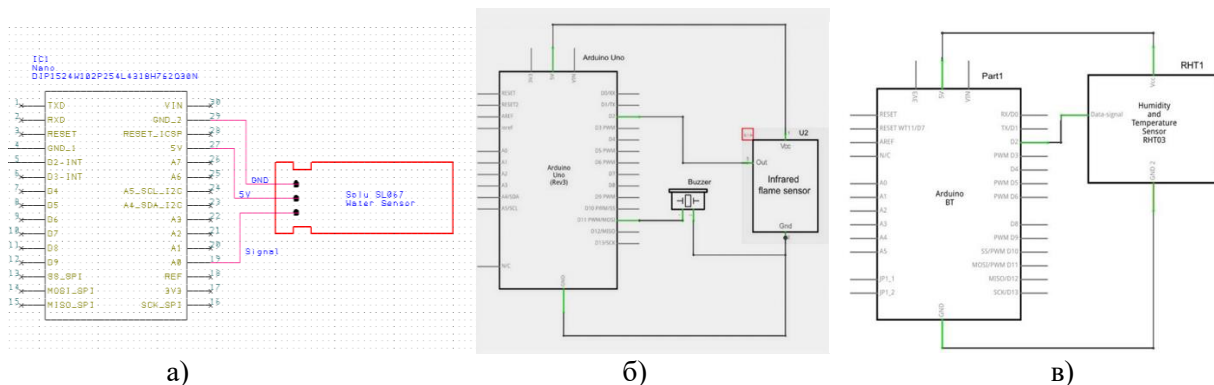


Рис. 1. Схеми підключення датчиків а) – води, б) – вогню, в) – температури та вологості до плати Arduino

Програмна частина додатку включає процес налаштування датчиків користувачем. Для збереження цих налаштувань використовується база даних, яка підключена до додатку. База даних має можливість зберігати дані авторизації та визначену структуру для налаштувань датчиків. Крім того, встановлено зв'язок між базою даних та середовищем Unity.

В якості серверної платформи використовується PlayFab. PlayFab є повноцінною серверною платформою для онлайн-ігор, що надає керовані ігрові сервіси та аналітику в реальному часі.

В якості шаблону проектування для створення та управління User Interface використовується Model-View-ViewModel. MVVM, як і інші шаблони проектування, сприяє організації коду і поділу програм на модулі, що спрощує розробку, оновлення та повторне використання коду, забезпечуючи більшу простоту та ефективність.

Для обробки даних з різних датчиків використовується паттерн Publisher-Subscriber. У шаблоні обміну повідомленнями Publisher-Subscriber видавці не надсилають повідомлення безпосередньо всім підписникам. Замість цього повідомлення передаються через «брокерів». Видавці не знають, хто є підписниками або на які події вони підписані, якщо такі є. Це означає, що операції видавця та підписника можуть працювати незалежно одна від одної. Цей підхід також називають слабким зв'язком, оскільки він усуває залежності між об'єктами, які інакше могли бути присутніми в традиційних шаблонах обміну повідомленнями.

Шаблон Publisher-Subscriber відрізняється від стандартних моделей запитів/відповідей тим, що видавці не перевіряють, чи доступні нові дані. Це є основою для ефективної потокової передачі даних у реальному часі. Використання шаблону Publisher-Subscriber дозволяє створювати динамічні мережі в масштабі, уникнувши перевантаження видавничих компонентів та непотрібних витрат.

Типові сценарії використання цього шаблону включають обмін повідомленнями про події, миттєві повідомлення та потокове передавання даних. Publisher-Subscriber також знаходить застосування в балансуванні робочого навантаження та асинхронних робочих процесах, рис. 2.

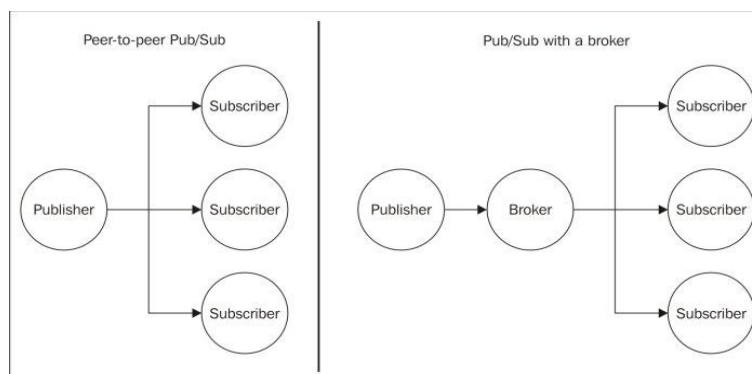


Рис. 2. Модель шаблону програмування Publisher – Subscriber

Для реалізації серверної частини потрібно створити обліковий запис PlayFab. Платформа надає широкий спектр сервісів, таких як гравці, економіка, таблиці лідерів та керування контентом. Ці послуги охоплюють облікові записи, торгівлю/валюти, таблиці лідерів та інші функції, наприклад, управління інвентарем. Для інтеграції PlayFab в проект Unity також потрібно встановити два компоненти: пакет PlayFab Unity SDK і пакет розширень PlayFab Editor. Це забезпечить необхідну функціональність для роботи з платформою у середовищі Unity. Для перевірки правильності налаштувань PlayFab створено нового гравця, дані якого автоматично заносяться до бази даних створеного проекту. Роль API виконує створений окремий клас з запитом до сервісу PlayFab. Методи авторизації приймають вхідні дані, такі як електронна пошта, пароль і нікнейм користувача, і створюють спеціальний запит у вигляді моделі. Для реєстрації користувачів використовується модель RegisterPlayFabUserRequest, а для входу під уже створеним обліковим записом – модель LoginWithEmailAddressRequest. Виклик API вимагає передачі двох зворотних викликів – для успішного виконання запиту і для обробки помилок.

Реалізація програмної частини у середовищі Unity розпочинається з імплементації базового класу DependentMonoBehaviour, який забезпечує реалізацію Dependency Injection паттерна. Цей базовий клас має велике значення в проекті, оскільки на етапі створення базових модулів програми потрібно зв'язувати ці модулі, дотримуючись принципів SOLID програмування.

З описаного базового класу походять два класи: UIController і UIPresentationModel<T>. Вони використовуються для реалізації шаблону проектування MVVM. З цих класів створюються необхідні класи для управління датчиками вогню, води, дверей, температури і вологості. Крім того, існують класи, які успадковуються від цих класів і відповідають за процес авторизації користувачів,

такі як RegisterForm і LoginForm.

Кожен з контролерів для датчиків реалізує інтерфейс ISensorSignalReceiver, який містить метод з типом датчика. Цей метод викликається у SensorsSignalReceiver, що втілює шаблон програмування Publisher-Subscriber.

Для роботи процесу авторизації створений клас LoginAPI, який має методи для обробки запитів з сервісом PlayFab. Цей клас використовується з LoginForm і RegisterForm, які отримують дані користувача з полів, що обробляються у View частині.

Розробка та складання апаратної частини здійснена на базі плати Arduino. Для збирання пристрою підготовлено наступні компоненти: макетна плата, датчик рівня води з вбудованим резистором, датчик температури та вологості з вбудованим резистором, датчик вогню, кнопка, резистори для кнопки та датчика вогню, перемички, плата Arduino.

Спочатку виконується підключення макетної плати. Вихід 3,3V або 5V з'єднується перемичкою до входу «плюс», залежно від вимог. Аналогічно з'єднуються виходи для заземлення (GND), що забезпечує живлення всієї плати.

Наступним кроком є підключення датчиків води, температури та вологості. Обидва датчики мають три виходи: заземлення, живлення та сигнал. Необхідні контакти з'єднуються з лінією «плюс» та «мінус» на макетній платі, а сигнал підводиться на аналогові входи плати Arduino. Оскільки датчики мають вбудовані резистори, додаткове підключення не потрібне.

Для кнопки і датчика вогню використовуються два резистори. Датчик вогню встановлюється на плату. Одна частина резистора та перемичка для аналогового сигналу підключаються до «плюса» датчика. Живлення підключається до іншої частини резистора. Заземлення підводиться до коротшої ніжки датчика. Щодо кнопки, один кінець резистора підключається до нижньої лівої ніжки кнопки.

Unity використаний як кросплатформний ігровий двигун, що дозволяє розробникам створювати ігри для Android та iOS з використанням однієї кодової бази. Для сценаріїв використана мова C#, яка не підтримується на Android та iOS. Однак код C# перетворений в код C++ за допомогою компілятора Unity IL2Cpp, який використовується для створення проектів Xcode та Android Studio.

Поміж коду, C++ IL2Cpp також генерує метадані, які зберігаються у зовнішньому файлі під назвою «global-metadata.dat». Цей файл включений до згенерованої програми і завантажується середовищем виконання IL2Cpp під час ініціалізації програми. Він містить інформацію про всі об'єкти середовища виконання, включаючи імена, типи класів, методи, властивості та зв'язки між ними, а також рядкові літерали, такі як ключі API, які використовуються в коді C#. Ці метадані посилалися зі згенерованого коду C++ та використовуються для зв'язування методів з їх реалізацією.

Усі метадані, які були збережені у файлі «global-metadata.dat», легко отримати, що надає зловмисникам інформацію, яку вони можуть використати для зламування ігор.

Оскільки програмна частина проекту використовує збереження даних авторизації користувача для підстановки, використовується алгоритм шифрування AES. AES є шифром, який може обробляти 128-бітові блок, використовуючи ключі розміром 128, 192 і 256 біт. Серед його переваг можна виділити безпеку, просту реалізацію та легку обробку, що не потребує багато ресурсів [12].

При запуску додатку користувач одразу потрапляє на сцену, де присутня модель «смайт-будинку». На цьому етапі видно елементи User Interface в правому та лівому верхніх кутках, які можна використовувати для відкриття меню телефону для управління або меню паузи відповідно. У лівому нижньому кутку також розташовані Debug елементи, які дозволяють безпосередньо запускати сценарії або емулявати сигнал з датчиків, рис. 3.



Рис. 3. Екран з меню для налаштування датчиків

Після натискання кнопки «меню» користувач бачить, як на екрані з'являється телефон, який симулює додаток для управління «смарт-будинком». Першим кроком є процес авторизації, де користувач може створити новий акаунт або увійти за допомогою наявного. Процес авторизації також надає можливість зберігати дані, щоб не потрібно було вводити їх при кожному вході.

Після успішного проходження процесу авторизації з'являється меню налаштування датчиків, де вгорі відображається ім'я користувача. У цьому меню представлені всі доступні датчики, які можна увімкнути або вимкнути. Після внесення змін до налаштувань, нові дані відправляються на сервер та зберігаються. Таким чином, при наступному відвідуванні користувач побачить збережені налаштування, які використовувались раніше. Він також може випробувати переключення деяких датчиків, щоб побачити вікно підтвердження збереження.

Після налаштування датчиків, користувач може перейти до тестування сценаріїв, які вже реалізовані і виконуються в додатку. Ці сценарії розроблені таким чином, що вони послідовно виконуються один за одним, і новий сценарій не почнеться, поки попередній не буде завершений.

Для початку тестування користувач може запустити сценарій пожежі. Цей сценарій починається з ефекту пожежі, який відтворюється в будинку. Після спалаху пожежі, на місце прибуває пожежна служба та розпочинає гасіння полум'я. Після успішного гасіння, відбувається анімація, що зображує ефект захисту будинку, і пожежна служба від'їжджає від об'єкту, рис. 4.

Інші сценарії працюють за аналогічним принципом. Однак, вони відрізняються ефектами, які відтворюють певні надзвичайні ситуації, а також службами, які прибувають для їх усунення. Щоб протестувати інші сценарії, користувач може натискати кнопки «Water», «Door» та «Humidity».



Рис. 4. Сценарій пожежі та реагування пожежної служби

У системі смарт-будинок інформація з датчиків, які передаються на мікроконтролер Arduino, підлягає процесам шифрування та стиснення з метою забезпечення безпеки та ефективності передачі даних [13].

Шифрування використовується для захисту конфіденційності даних під час їх передачі. Зазвичай використовуються симетричні або асиметричні криптографічні алгоритми. Пропонується шифрування інформації отриманої з датчиків системи «смарт-будинок» за допомогою матричної решітки [14].

Стиснення даних використовується для зменшення обсягу передаваних даних і забезпечення

ефективної передачі по обмежених каналах зв'язку [15]. Для стиснення даних використовуються різні алгоритми стиснення, такі як алгоритми безвтратного стиснення (наприклад, алгоритми Huffman або Lempel-Ziv-Welch) або алгоритми стиснення із втратами. Це дозволяє ефективно використовувати пропускну здатність мережі і зменшує використання ресурсів пам'яті на мікроконтролері.

Таким чином, застосування шифрування та стиснення інформації з датчиків системи смарт-будинку перед їх передачею на мікроконтролер Arduino дозволяє забезпечити безпеку даних, а також ефективне використання ресурсів мережі та пам'яті.

Висновки та перспективи подальшого дослідження. У статті детально розглядаються різні аспекти моделювання системи датчиків, включаючи процес вибору оптимального мікроконтролера, розробку ефективних алгоритмів збору та обробки даних, а також імплементацію шифрування для захисту інформації. Сценарії реагування на порушення безпеки будинку працюють точно і демонструють ефективність системи розумного дому. Крім того, тестування сервісу авторизації користувачів підтверджує, що система зберігає налаштування датчиків для кожного користувача.

Потенційними напрямками покращень у майбутньому є забезпечення бездротового зв'язку між мікроконтролером, датчиками та системою за допомогою Wi-Fi або Bluetooth модулів, що збільшить гнучкість і зручність використання системи. Інший напрямок – покращення та оновлення архітектури модуля авторизації користувачів, щоб забезпечити більш високий рівень безпеки та зручності входу в систему. Ці покращення спрямовані на подальше вдосконалення функціональності та використання системи розумного дому, забезпечуючи більш широкі можливості та поліпшений досвід користувачів.

Список бібліографічного опису

1. Mowad, M. A. E. L., Fathy, A., & Hafez, A. (2014). Smart home automated control system using android application and microcontroller. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), 935-939.
2. Kucera, E., Haffner, O., & Kozak, S. (2018). Connection between 3D engine unity and microcontroller arduino: A virtual smart house. *Cybernetics & Informatics*, 102-109.
3. Kamelia, L., Effendi, M. R., & Pratama, D. F. (2018). Integrated smart house security system using sensors and RFID. In *2018 4th International Conference on Wireless and Telematics*, 67-72.
4. Teslyuk, V., Beregovskiy, V., Denysyuk, P., Teslyuk, T., & Lozynskiy, A. (2018). Development and implementation of the technical accident prevention subsystem for the smart home system. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 12(1), 13-19.
5. Wibowo, P., Lubis, S. A., & Hamdani, Z. T. (2017). Smart Home Security System Design Sensor Based on Pir and Microcontroller. *International Journal of Global Sustainability*, 1(1), 67-73.
6. Pirbhulal, S., Zhang, H., E Alahi, M. E., Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S. C., Zhang, Y. T., & Wu, W. (2016). A novel secure IoT-based smart home automation system using a wireless sensor network. *Sensors*, 17(1), 69.
7. Gaikwad, P. P., Gabhane, J. P., & Golait, S. S. (2015). A survey based on Smart Homes system using Internet-of-Things. In *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, 330-335.
8. Bugeja, J., Jacobsson, A., & Davidsson, P. (2016). On privacy and security challenges in smart connected homes. In *2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)*, 172-175.
9. Kumar, P., Gurtov, A., Iinatti, J., Ylianttila, M., & Sain, M. (2015). Lightweight and secure session-key establishment scheme in smart home environments. *IEEE Sensors Journal*, 16(1), 254-264.
10. Ali, B., & Awad, A. I. (2018). Cyber and physical security vulnerability assessment for IoT-based smart homes. *sensors*, 18(3), 817.
11. Jacobsson, A., Boldt, M., & Carlsson, B. (2016). A risk analysis of a smart home automation system. *Future Generation Computer Systems*, 56, 719-733.
12. Adiono, T., Harimurti, S., Manangkalangi, B. A., & Adijarto, W. (2018). Design of smart home mobile application with high security and automatic features. In *2018 3rd international conference on intelligent green building and smart grid (IGBSG)*, p. 43-47.
13. Yarmilko, A., Rozlomii, I., & Kosenyuk, H. (2021). Hash Method for Information Stream's Safety in Dynamic Cooperative Production System. In *International scientific-practical conference*. Cham: Springer International Publishing, 173-183.
14. Розломій І.О., Косенюк Г.В., Науменко С.В. (2023) Метод векторного шифрування інформації на основі використання авторського шаблону. *Computer-Integrated technologies: education, science, production.*, (51), 87-93.
15. Розломій І.О. (2022) Метод побудови матричних решіток Кардано для стиснення інформації. *Вісник ХНУ. Технічні науки*, 1(305), 85-90.

References

1. Mowad, M. A. E. L., Fathy, A., & Hafez, A. (2014). Smart home automated control system using android application and microcontroller. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), 935-939.
2. Kucera, E., Haffner, O., & Kozak, S. (2018). Connection between 3D engine unity and microcontroller arduino: A virtual smart house. *Cybernetics & Informatics*, 102-109.

3. Kamelia, L., Effendi, M. R., & Pratama, D. F. (2018). Integrated smart house security system using sensors and RFID. In 2018 4th International Conference on Wireless and Telematics, 67-72.
4. Teslyuk, V., Beregovskiy, V., Denysyuk, P., Teslyuk, T., & Lozynskiy, A. (2018). Development and implementation of the technical accident prevention subsystem for the smart home system. International Journal of Intelligent Systems and Applications, 12(1), 13-19.
5. Wibowo, P., Lubis, S. A., & Hamdani, Z. T. (2017). Smart Home Security System Design Sensor Based on Pir and Microcontroller. International Journal of Global Sustainability, 1(1), 67-73.
6. Pirbhulal, S., Zhang, H., E Alahi, M. E., Ghayvat, H., Mukhopadhyay, S. C., Zhang, Y. T., & Wu, W. (2016). A novel secure IoT-based smart home automation system using a wireless sensor network. Sensors, 17(1), 69.
7. Gaikwad, P. P., Gabhane, J. P., & Golait, S. S. (2015, April). A survey based on Smart Homes system using Internet-of-Things. In 2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC), 330-335.
8. Bugeja, J., Jacobsson, A., & Davidsson, P. (2016, August). On privacy and security challenges in smart connected homes. In 2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC), 172-175.
9. Kumar, P., Gurtov, A., Iinatti, J., Ylianttila, M., & Sain, M. (2015). Lightweight and secure session-key establishment scheme in smart home environments. IEEE Sensors Journal, 16(1), 254-264.
10. Ali, B., & Awad, A. I. (2018). Cyber and physical security vulnerability assessment for IoT-based smart homes. sensors, 18(3), 817.
11. Jacobsson, A., Boldt, M., & Carlsson, B. (2016). A risk analysis of a smart home automation system. Future Generation Computer Systems, 56, 719-733.
12. Adiono, T., Harimurti, S., Manangkalangi, B. A., & Adijarto, W. (2018, April). Design of smart home mobile application with high security and automatic features. In 2018 3rd international conference on intelligent green building and smart grid (IGBSG), p. 43-47.
13. Yarmilko, A., Rozlomii, I., & Kosenyuk, H. (2021, June). Hash Method for Information Stream's Safety in Dynamic Cooperative Production System. In International scientific-practical conference. Cham: Springer International Publishing, 173-183.
14. Rozlomii I.O., Kosenyuk G.V., Naumenko S.V. (2023) A method of vector encryption of information based on the use of an author's template. Computer-Integrated technologies: education, science, production, (51), 87-93.
15. Rozlomii, I.O. (2022) Method of construction matrix Cardano's grids for compression of information. KHNU Bulletin: Technical Sciences, 1(305), 85-90.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-44>

УДК 681.121.89.082.4

Роман Віталій Іванович, доцент, к.т.н.<https://orcid.org/0000-0002-8546-6752>**Прокопів Володимир Олександрович**, студент

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ТРИВИМІРНОГО МАКЕТА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА ДЛЯ ЙОГО CFD-АНАЛІЗУ

Роман В.І., Прокопів В.О. Алгоритм побудови тривимірного макета ультразвукового витратоміра для його CFD-аналізу. В роботі авторами розроблено покроковий алгоритм побудови тривимірного макета ультразвукового витратоміра в САПР SolidWorks для його CFD-аналізу. Даний алгоритм є складовою частиною узагальненої процедури CFD-аналізу ультразвукових витратомірів. На основі даного алгоритму, авторами показано розрахунок важливих з конструктивної точки зору параметрів двоканального хордового УЗВ, при побудові його тривимірного макету в САПР SolidWorks. Для двоканального хордового ультразвукового витратоміра з наведеного в роботі прикладу, авторами отримано дві калібрувальні криві – на повітрі та на метані.

Ключові слова: алгоритм, CFD-аналіз, ультразвуковий витратомір, тривимірний макет, хордові акустичні канали, калібрувальна крива

Roman V., Prokopiv V. Algorithm for constructing a three-dimensional model of an ultrasonic flowmeter for its CFD analysis. The authors of the paper have developed a step-by-step algorithm for constructing a three-dimensional model of an ultrasonic flowmeter in the CAD system SolidWorks for its CFD analysis. This algorithm is a component of the generalized procedure for CFD analysis of ultrasonic flowmeters. Based on this algorithm, the authors have demonstrated the calculation of important parameters of a two-path chordal ultrasonic flowmeter from a design standpoint, when building its three-dimensional model in the SolidWorks CAD system. For the two-path chordal ultrasonic flowmeter in the example provided in the paper, the authors obtained two calibration curves – for air and methane.

Keywords: algorithm, CFD analysis, ultrasonic flowmeter, three-dimensional model, chordal acoustic paths, calibration curve

Проблематика питання. За даними сайту straitsresearch.com, обсяг глобального ринку ультразвукових витратомірів (УЗВ) у 2021 році становив 690 мільйонів доларів США та, за прогнозами експертів, досягне 1 080 мільйонів доларів США до 2030 року, зростаючи в середньорічному темпі на 5,1 % протягом прогнозованого періоду (2022–2030 роки) [1]. В Україні ця тенденція теж існує, що підтверджується періодом до повномасштабного вторгнення. Ось кілька прикладів станом на кінець 2021 року: ТОВ «Оператор ГТС України» з початку року встановило УЗВ на 27 газорозподільних станціях для підвищення точності та достовірності обліку газу [2]; оператор газосховищ України розпочав реалізацію масштабного проекту з будівництва пунктів вимірювання витрати природного газу, зокрема на Більче-Волицько-Угерському газосховищі із використанням УЗВ. Бюджет робіт, які мали тривати до 2025 року, сягав 1,4 млрд. гривень [3]; в березні 2019 року «Укртрансгаз» ввів в експлуатацію після реконструкції газорозподільну станцію «Калуш-2» (Івано-Франківська область), яка є однією з найпотужніших у газотранспортній системі України. Загальна сума інвестицій склала 82 млн. грн., а основою для станції стала новітня технологія вимірювання витрат газу ультразвуковим методом [4]; на початок 2022 року АТ «Укргазвидобування», через систему Prozorro, замовив високоточні ультразвукові лічильники для облаштування вузлів обліку на суму близько 130 млн. гривень [5].

Для вирішення різноманітних задач, які виникають в цій галузі, науковці та виробники використовують безліч технік, одна з яких – комп'ютерно-математичний апарат методів обчислювальної гідродинаміки (так зване CFD-моделювання / CFD-аналіз) [6-8]. Особливо це доцільно в період проектування нових чи дослідження діючих типів УЗВ. Часові, фінансові, людські затрати при застосуванні CFD-моделювання значно менші, в порівнянні з аналогічним підходом на реальних прототипах продуктів (на вимірювальних установках в лабораторіях чи на полігоні, та ще й під час можливих обстрілів ворога). Поєднуючи попиту на УЗВ для потреб величезної газотранспортної системи України та наявність розвиненої комп'ютерної технології моделювання потоків, можна з певністю говорити, що наукові дослідження в цій сфері є вкрай актуальними.

Попри популярність УЗВ, що викликана в першу чергу їх перевагами (мають більш широкий діапазон вимірювання та вдвічі більшу точність, завдяки калібруванню на метрологічних стендах [2]; малі втрати тиску, двонапрямленість потоку та інші [9-11]), цей тип витратомірів має і свої недоліки, серед яких основний – чутливість до збурень структури профілю швидкості потоку

різного роду місцевими опорами (МО) чи регулюючою арматурою [12]. Першим способом усунення цього впливу, є забезпечення достатньої відстані між УЗВ і джерелом спотворення [9, 11]. Другий спосіб – ускладнення конструкції УЗВ додавання пристроїв підготовки або «кондиціонування» потоку [9, 11]. Як в першому, так і другому випадку, зручним інструментом стає потужний комп'ютерно-математичний апарат, який перебуває на такому рівні, що дозволяє вирішувати широкий спектр наукових та практичних задач [6-8].

До комп'ютерних програмних пакетів, що реалізують саме методи обчислювальної гідродинаміки (CFD-пакети), належить і Flow Simulation, що є складовою частиною САПР SolidWorks. Щоб провести описані вище дослідження способів усунення спотворень структури потоку перед УЗВ, користувачу необхідно виконати так звану процедуру CFD-аналізу [13], серед кроків якої, передбачена побудова адекватної щодо реального об'єкта CFD-моделі цього об'єкта (тривимірний макет). Саме розробці алгоритму побудови CFD-моделі УЗВ в САПР SolidWorks присвячена дана робота.

Викладення основного матеріалу. Узагальнена процедура CFD-аналізу об'єктів дослідження (рис.1), яку запропонував Shaw [13], містить шість етапів:

1. Початкові судження та міркування про проблему, що моделюється, щоб точно її окреслити та визначити. На цьому етапі досліднику потрібно зібрати якомога більше необхідної інформації для моделювання (геометрії об'єкту аналізу, властивості та характеристики плинних речовин, граничні та початкові умови). В контексті УЗВ, дослідник повинен зібрати паспортні дані витратоміра та вимірювальної ділянки, де він працюватиме, якщо аналізується реальний тип. Якщо проектується новий УЗВ, то необхідно обрати методику для визначення координат розташування акустичних каналів (АК) та їх вагових коефіцієнтів, до прикладу на базі якогось із класичних числових методів інтегрування (ЧМІ), як от метод Гауса-Якобі [9-11, 14].

2. Побудова геометрії. Під геометрією розуміється просторова область течії, як от вимірювальний трубопровід (ВТ) у випадку моделювання УЗВ. Тривимірна геометрія створюється за допомогою спеціалізованого креслярського програмного забезпечення (до прикладу, САПР AutoCad, SolidWorks [15] та інші подібні продукти).

3. Створення розрахункової сітки. На цьому етапі геометрія (неперервний простір області течії) розбивається на елементарні малі дискретні комірки, розподіл яких визначає позиції, в яких повинні обчислюватися і зберігатися змінні потоку. Градієнти змінних, як правило, більш точно розраховуються на дрібній сітці, ніж на грубій. Тому, дрібна сітка особливо важлива в областях, де очікуються значні коливання змінних потоку (до прикладу, типові МО, робочі органи регулювальної арматури, «кишені» електроакустичних перетворювачів УЗВ, тощо). Дрібна сітка, однак, вимагає збільшення обчислювальної потужності комп'ютерної техніки і, що логічно, часу на розрахунок.

4. Характеристика потоку. Набір характеристик (специфікація) потоку включає визначення фізичних властивостей плинного середовища (рідини, газу, чи суміші), моделі (режиму) потоку (турбулентний, перехідний чи ламінарний), граничних і початкових умов, визначених на початковій стадії проектування (до прикладу, за паспортними даними вимірювальної установки).

5. Обчислення числового розв'язку. Коли вся інформація, необхідна для моделювання, вказана, CFD-пакет виконує ітераційні обчислення для отримання розв'язку числових рівнянь, що описують потік (рух, теплообмін, тощо). Користувач також повинен надати інформацію, яка буде контролювати процес числового розв'язку (до прикладу, критерії збіжності).

Оскільки УЗВ є витратоміром за швидкісним принципом вимірювання витрати, деталізуємо те, яким чином відбувається CFD-моделювання руху потоку. Математичні рівняння, що використовуються для опису руху потоку (течії плинного середовища) в CFD-пакеті Flow Simulation SolidWorks – це рівняння нерозривності та рівняння імпульсу (також відомі як рівняння Нав'є-Стокса), які описують збереження маси та імпульсу відповідно. Для потоків з теплопередачею, потрібен інший набір рівнянь, який описує збереження енергії [16].

Оскільки комп'ютерна техніка оперує лише числовими даними, названі рівняння не можна розв'язати безпосередньо, а лише у формі диференціальних рівнянь в часткових похідних (ДРЧП). Далі ці рівняння перетворюються в числові (містять тільки числа і не мають похідних) – відбувається так звана числова дискретизація. Процес дискретизації пов'язаний з похибкою, оскільки числові члени є лише наближенням до вихідних членів диференціала в частинних похідних. Однак, цю похибку можна мінімізувати до дуже низького значення, а отже, до

прийнятного рівня [13].

Основними методами, що використовуються в CFD-аналізі для дискретизації, є [17]:

- метод скінченних різниць або метод сіток, що перетворює диференціальні оператори на різниці, а функції неперервного аргументу на функції дискретного аргументу; така заміна переводить ДРЧП в систему нелінійних алгебраїчних рівнянь, які зрештою зводяться до лінійної системи деяким ітераційним методом;

- метод скінченних елементів, що перетворює ДРЧП в апроксимуючу систему звичайних диференціальних рівнянь, які потім розв'язуються використанням якої-небудь стандартної техніки (метод Ейлера, Рунге-Кутти тощо); вся геометрія розбивається на скінченну кількість невеликих підобластей (елементів), і припускається, що залежні змінні змінюються в межах кожного елемента, і ці зміни потім використовуються для створення опису того, як змінні змінюються в усій області; метод генерує рівняння для кожного елемента незалежно від інших елементів, а взаємодія між елементами враховується лише тоді, коли рівняння елементів зібрані в матриці;

- метод скінчених об'ємів, що працює за схожим принципом з методом скінчених елементів; тут теж використовується сітка, але не елементів, а скінчених об'ємів навколо кожної вузлової точки сітки; як і в методі кінцевих різниць, числові рівняння в даній точці базуються на значеннях в сусідніх точках.

Метод скінчених об'ємів для дискретизації використовується в CFD-пакеті Flow Simulation CAIP SolidWorks.

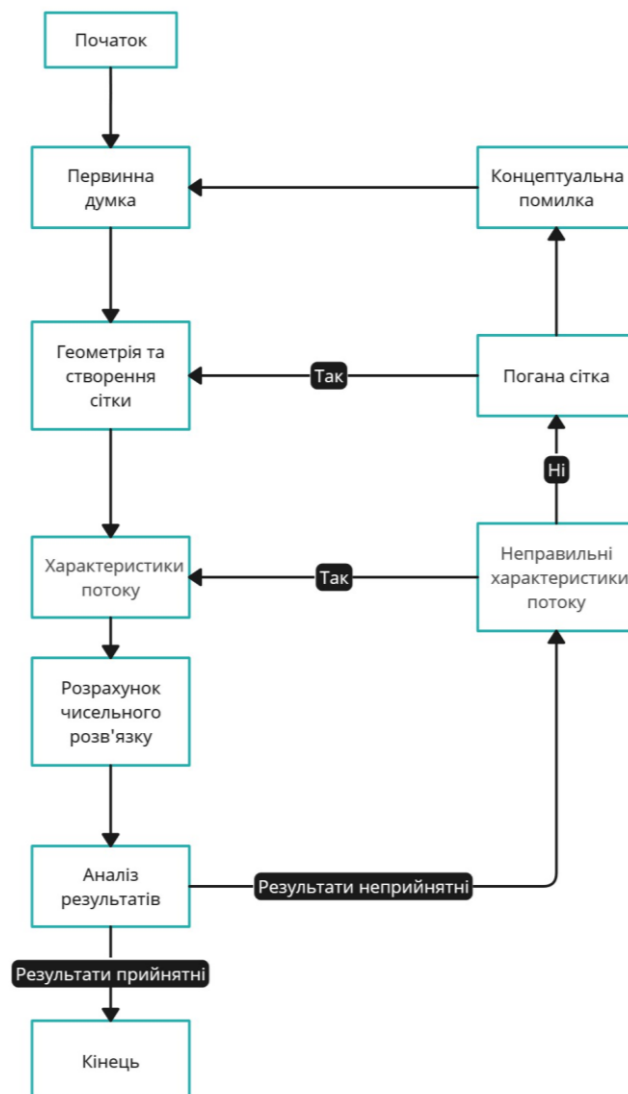


Рис.1. Блок-схема CFD-аналізу [13, 18]

Після отримання дискретних числових рівнянь вони розв'язуються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення для отримання набору числових значень змінних у

множині дискретних точок, визначених сіткою [18]. Якщо проблема, яку розв'язують, є нестационарною, тобто залежною від часу, реальний час потоку розбивається на менші часові інтервали, які називаються часовими кроками, і на кожному кроці має бути досягнуте наближене рішення потоку, перш ніж переходити до наступного часового кроку. Це додає ще один цикл ітерацій до процесу розв'язання [18].

6. Аналіз (обробка) отриманих даних. Отримавши розв'язок, користувач може проаналізувати результат, щоб перевірити, чи є він задовільним, і визначити необхідні подальші кроки. Якщо отримані результати є незадовільними, необхідно визначити джерело помилки (неправильна специфікація потоку, низька якість сітки або концептуальна помилка у формулюванні задачі) [13].

Для CFD-аналіз УЗВ слід розглянути коротко суть роботи даного типу витратомірів. Як відомо, класичний УЗВ це витратомір, що для визначення швидкості (витрати) потоку використовує ефекти взаємодії ультразвуку з рухомих потоком. Якщо УЗВ працює за часорізницевою методою (*transit-time*), то фіксується різниця проходження ультразвукових коливань за і проти потоку [9]. Якщо витрата нульова, то і різниця нульова. Але як тільки з'являється рух, різниця починає рости.

Рівняння об'ємної витрати УЗВ отримують за швидкісним принципом вимірювання, коли витрата залежить від усередненої по перерізу ВТ (u_{ser}) швидкості потоку [9]:

$$q_v = Au_{ser}, \quad (1)$$

де $A = \pi R^2$ – площа поперечного перерізу ВТ; $R = D/2$, де D – внутрішній діаметр ВТ.

УЗВ не можуть виміряти u_{ser} безпосередньо (напрямку), тому він вимірюють середню швидкість потоку (u_L) вздовж (і в напрямку) АК (рис.2,а) довжиною L . Дану швидкість необхідно перетворювати до u_{ser} за допомогою поправкового коефіцієнта профілю k [9]:

$$q_v = Au_{ser} = Aku_L, \quad (2)$$

де k – залежить від гідродинаміки потоку та стану внутрішньої поверхні труби. В основному документі Американської газової асоціації (AGA) по УЗВ [11], на базі напівемпіричного профілю Нікурадзе (степеневим законом) [16], розроблено формулу для визначення коефіцієнта k [11]:

$$k = \frac{2n}{(2n+1)}, \quad (3)$$

де n – число Нікурадзе (є функцією числа Рейнольдса і шорсткості труби або коефіцієнта тертя) [11, 16].

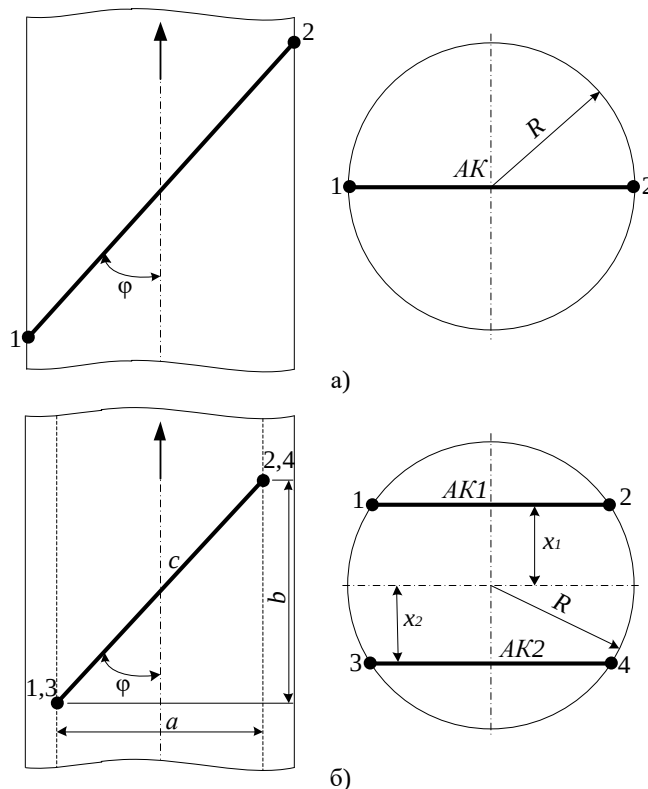


Рис.2. Вимірювальна схема УЗВ: а) одноканального діаметрального; б) двоканального хордового

У випадку, якщо УЗВ має кілька АК, до прикладу два, то формулу (2) можна модифікувати

до такого вигляду [14]:

$$q_v = Au_{ser} = A(w_1u_{L1} + w_2u_{L2}), \quad (4)$$

де u_{L1} та u_{L2} – усереднені швидкості потоку вздовж АК1 АК2 (рис.2,б), w_1 та w_2 – вагові коефіцієнти першого і другого АК, які вираховують із застосуванням спеціальних формул та ЧМІ, що враховують значення координат розташування АК (x_1 та x_2 на рис.2,б). Вагові коефіцієнти в цій формулі замінюють за своєю суттю коефіцієнт k .

Оскільки в роботі було поставлено за мету розробити алгоритм побудови адекватної щодо реального об'єкта CFD-моделі цього об'єкта (тривимірний макет). Нами розроблено такий алгоритм для випадку, коли об'єктом дослідження виступає одно канальний діаметральний УЗВ (рис.2,а) або багатоканальний хордовий УЗВ (рис.2,б). Алгоритм адаптований для побудови тривимірного макету УЗВ в САПР SolidWorks.

Алгоритм побудови тривимірного макету УЗВ. Розглянемо детально алгоритм побудови тривимірного макету УЗВ в САПР SolidWorks:

1. Визначення типу УЗВ: хордовий / діаметральний.
2. Визначення кількості АК УЗВ: один / багато.
3. Визначення наявності кишень електроакустичних перетворювачів: наявні / відсутні.
4. Розрахунок геометрії АК УЗВ

Для цього можна використовувати паспортні дані реального УЗВ, або теоретичні дані (до прикладу, застосовувавши методологію із використанням ЧМІ [10]).

- 4.1. Розрахунок ширини площини, в якій проходять АК (a) за формулою:

$$a = 2\sqrt{R^2 - (Rx)^2}, \quad (5)$$

де x – відносна координата розташування АК УЗВ (його відносна відстані до осі ВТ); для діаметрального УЗВ $x = 0$.

- 4.2. Розрахунок довжини АК (c) за формулою:

$$c = \frac{a}{\cos(\varphi)}, \quad (6)$$

де φ – кут нахилу АК відносно осі ВТ в радіанах.

- 4.3. Розрахунок довжини вимірювальної бази УЗВ (b) за формулою:

$$b = \sqrt{c^2 - a^2}. \quad (7)$$

5. Побудова тривимірного макету ВТ для калібрування УЗВ

- 5.1. Будуємо коло радіусом R (мм).

5.2. Будуємо пряму, довжина L_{mak} (мм) якої пропорційна достатній довжині прямолінійної ділянки ВТ для калібрування УЗВ. Ця пряма є перпендикулярна до площини, в якій лежить коло, і виходить з центру цього ж кола. Для вибору оптимальної значення L_{mak} , потрібно відштовхуватися від того факту, що довжина прямолінійної ділянки ВТ для калібрування УЗВ не може бути меншою за довжину вимірювальної бази УЗВ b . Тобто, L_{mak} може бути рівна b , або бути більшою. Провівши дослідження, нами виведено емпіричну формулу для розрахунку L_{mak} :

$$L_{mak} = 12b. \quad (8)$$

5.3. Будуємо макет видавлювання кола вздовж прямої, з утворенням циліндра. Надаємо цьому циліндру пустотілості шляхом утворення стінки у напрямку назовні (довільної товщиною в міліметрах).

6. Побудова імітаторів АК УЗВ

6.1. Будуємо «прозорі» площини на відстані xR та $-xR$ відносно осі ВТ. Кількість площин пропорційна кількості АК УЗВ.

6.2. Будуємо в площинах лінії, які слугуватимуть імітаторами АК – вздовж них буде виконуватися «збір» параметрів потоку після CFD-моделювання. Довжина ліній конкретного АК тотожна величині c цього ж АК. Головне, що потрібно виконати на цьому етапі, визначити координати початку імітатора АК, тобто визначити місце встановлення УЗВ при калібруванні (l_{mak}). Оскільки оптимальний L_{mak} є більшим за b , нами проведено дослідження варіантів встановлення УЗВ на ВТ: початок, середина та кінець макету, виражені в міліметрах. Як показали результати моделювання, оптимальним є варіант розміщення імітаторів АК (до прикладу, 1 на рис.2,а), розрахований за емпіричною формулою виду:

$$l_{mak} = 0,5L_{mak}. \quad (9)$$

Зауваження №1. Перед CFD-моделюванням, імітатори АК УЗВ весь час повинні бути «виключені» з макету. Опісля, їх «включать», і знімають дані вздовж них.

Зауваження №2. Для чого потрібен тривимірний макет УЗВ для калібрувати УЗВ?

Під час CFD-аналізу в рівняння об'ємної витрати УЗВ (2) або (4) потрапляють значення швидкостей потоку, які отримані за результатами CFD-моделювання простим усередненням даних вздовж імітаторів АК. Однак, при такому застосуванні, ці рівняння можуть мати систематичні похибки внаслідок таких причин:

1) неточності відтворення геометрії АК УЗВ, внаслідок складності конструкції, та у випадках, коли деяка інформація відсутня, або неправильно визначена;

2) неточності відтворення методами CFD-моделювання ефектів турбулентності потоку та похибки дискретизації розрахункової сітки [6];

3) вибір недостатньої кількості точок для усереднення значень вздовж імітаторів АК.

З метою усунення вказаних недоліків, запропоновано виконувати удосконалення рівнянь (2) та (4) за допомогою введення в них калібрувального коефіцієнта k_{cal} який залежить від значення еталонної витрати, при якій відбувається CFD-моделювання. Згідно [9], визначення калібрувального коефіцієнта УЗВ слід виконувати для умов відсутності спотворень структури потоку – за достатньої довжини прямолінійної ділянки ВТ. Значення k_{cal} для фіксованої витрати пропонується визначати на основі еталонних значень масової витрати за формулою:

$$k_{cal} = \frac{q_{m.et}}{q_{m.CFD}}, \quad (10)$$

де $q_{m.et}$ – еталонне значення масової витрати, яке задаємо на етапі налаштування CFD-пакету перед CFD-моделюванням; $q_{m.CFD} = q_v \rho_{ser}$ – значення масової витрати УЗВ; q_v – отримуємо за формулою (2) або (4), в яких швидкість знайдена за результатами CFD-моделювання вздовж імітаторів АК, як і ρ_{ser} (густина).

Слід зазначити, що еталонне значення масової витрати вибираємо на основі відомостей про робочий діапазон об'ємної витрати реальних УЗВ такої ж конструкції та типорозміру, із врахуванням термодинамічних параметрів потоку (тиск, температура, тип середовища), за яких працює УЗВ. Також слід зауважити, що значення цих параметрів використовуються для налаштування CFD-пакету перед CFD-моделюванням.

7. Побудова заглушок

Заглушки, це наче кришка для пляшки, тільки тут вони з обох боків. Вони слугують граничними умовами, які довершать геометрію (з ВТ включно), в середині якої відбувається CFD-моделювання.

7.1. Будуємо два кола радіусом $R = R + 0,5$ (мм) на кінцях макету ВТ.

7.2. Будуємо видавлюванням з цих кіл твердотілі циліндри довільної товщини в напрямку «назовні». Внутрішня поверхня заглушок слугуватиме для задавання початкових умов CFD-моделювання (вхідна або вихідна витрата / швидкість середовища; вхідний або вихідний тиск середовища). За результатами наших досліджень, найкраще обирати як вхід – масову витрату, а вихід – статичний тиск.

8. Побудова тривимірного макету для дослідження УЗВ в реальних умовах

Зауваження №3. Після отримання калібрувальної кривої УЗВ, тривимірний макет ВТ для його калібрування, може бути використаний для дослідження ефектів роботи витратоміра в реальних умовах. Або, може бути побудований зовсім новий макет. В яких ситуаціях найчастіше використовують CFD-аналіз УЗВ:

а) дослідження впливу спотворень структури потоку на вході існуючих або нових УЗВ; джерелом спотворень найчастіше виступають типові МО [10, 12];

б) дослідження впливу відмінності типу вимірювального середовища калібрування (до прикладу, повітря) від середовища в реальних умовах (до прикладу, метан).

Як у випадку а) так і у випадку б), конструкція ВТ відрізняється від тої, яка була під час калібрування УЗВ.

Будуємо новий або модифікуємо тривимірний макет ВТ для калібрування (до УЗВ за напрямком руху добудовуємо МО згідно його геометричних характеристики, взятих з відповідних стандартів [9, 14]).

Приклад застосування алгоритму побудови тривимірного макету УЗВ. Для наочності запропонованого нами алгоритму, розглянемо його реалізацію для побудови тривимірного макету двоканального хордового УЗВ на ВТ діаметром 100 мм ($R = 50$ мм). Координати розташування та вагові коефіцієнти АК УЗВ взяти за ЧМІ Гауса-Якобі [10], згідно якого $x_1 = x_2 = 0,5R = 25$ мм, а $w_1 = w_2 = 0,5$.

Кут $\varphi = 45^\circ$.

Рівняння об'ємної витрати згідно формулі (4):

$$q_v = 0,5\pi R^2(u_{L1} + u_{L2}).$$

1. Визначення типу УЗВ: хордовий.
 2. Визначення кількості АК УЗВ: багатоканальний (два канали).
 3. Визначення наявності кишень електроакустичних перетворювачів: відсутні.
 4. Розрахунок геометрії АК УЗВ
 - 4.1. Ширина площини, в якій проходять АК1 і АК2 (рис.2,б): $a_{1,2} = 86,6025$ мм.
 - 4.2. Довжина АК1 та АК2: $c_{1,2} = 122,4744$ мм.
 - 4.3. Довжина вимірювальної бази УЗВ: $b = 86,6025$ мм.
 5. Побудова тривимірного макету ВТ для калібрування УЗВ: $L_{mak} = 1039$ мм ≈ 1040 мм.
 6. Побудова імітаторів АК УЗВ: $l_{mak} = 520$ мм.
- Вигляд тривимірного макету ВТ з УЗВ для заданих в прикладі умов, зображено на рис.3.

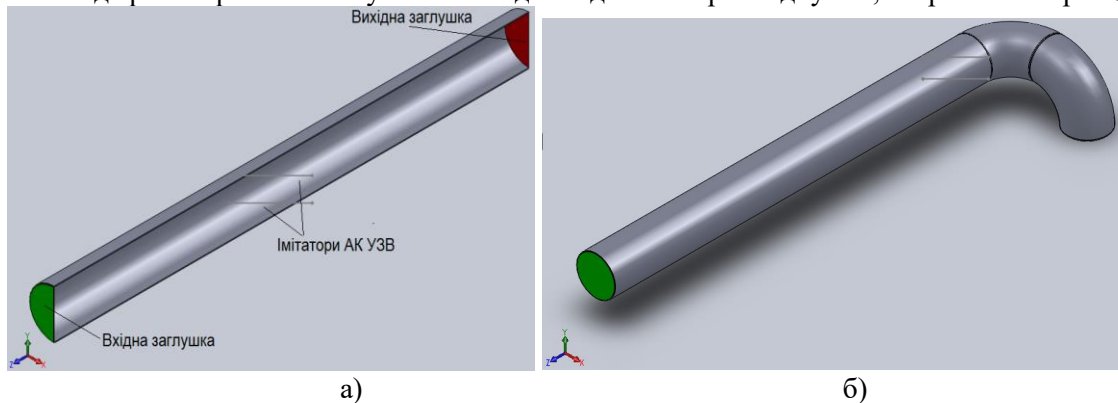


Рис.3. Тривимірний макету ВТ з УЗВ в САПР SolidWorks: а) для калібрування; б) для дослідження

Як можна побачити з результатів проведених нами досліджень, наведених на рис.4, значення калібрувального коефіцієнта, знайденого за формулою (10), не перевищує значення 1,003 одиниці в майже усьому діапазоні витрати, окрім однієї точки (першої). Це свідчить про те, що ця точка є точкою переходу між ламінарним та турбулентним режимами руху течії. На малих швидкостях необхідно особливо враховувати різні фактори впливу. Також цікавим є той факт, що тип середовища не сильно вплинув на результати – криві калібрування для повітря та метану майже однакові.

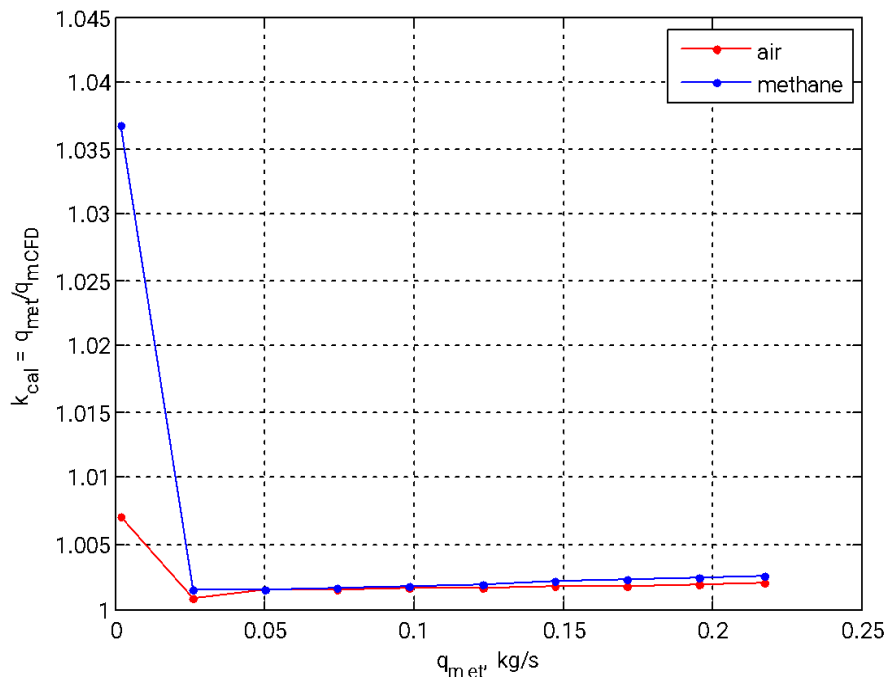


Рис.4. Залежність $k_{cal} = f(q_{m.et})$ двоканального хордового УЗВ отримана для повітря і метану

Висновки та перспективи подальшого дослідження. За результатами аналізу узагальненої процедури CFD-аналізу об'єктів дослідження, нами розроблено алгоритм побудови тривимірного макету УЗВ. Даний алгоритм дозволяє створити максимально наближений до реального УЗВ тривимірний макет (геометрію CFD-аналізу) в САПР SolidWorks, що в подальшому використовується для моделювання. На базі розробленого алгоритму, наведено конкретний приклад розрахунку важливих з конструктивної точки зору параметрів двоканального хордового УЗВ, при побудові його тривимірного макету в САПР SolidWorks. Також нами отримано так звані калібрувальні криві для досліджуваного в прикладі двоканального хордового УЗВ.

Подальші дослідження в цьому напрямі будуть направлені на розробку алгоритму підбору параметрів налаштування CFD-паketу (як частина CFD-аналізу), які будуть максимально наближені до реального УЗВ.

Список бібліографічного опису

1. Straits Research. (2021). Ultrasonic flowmeter market. Отримано з <https://straitsresearch.com/report/ultrasonic-flowmeter-market>.
2. Tsoua. (2021). Operator GTS Ukrainy pidvyshchuye tochnist ta dostovirnist obliku hazu. Отримано з <https://tsoua.com/news/operator-gts-ukrainy-pidvyshchuye-tochnist-ta-dostovirnist-obliku-gazu/>.
3. UTG. (2021). Operator hazoskhovishcha Ukrayini pobudue punkty vimiru hazu na dev'yati PSG vidpovidno do svitovikh standartiv. Отримано з <https://utg.ua/utg/media/news/2021/09/operator-gazoskhovishh-ukrani-pobudu-punkti-vimru-gazu-na-dev'yati-psg-vidpovidno-do-svtovix-standartv.html>.
4. UTG. (2019). Ukrtransgaz zapustyv hazorozpodilnu stantsiyu Kalush-2 v Ivano-Frankivskiy oblasti. Отримано з <https://utg.ua/utg/media/news/2019/03/ukrtransgaz-zapustyv-gazorozpodilnu-stanciu-kalush-2-v-ivano-frankivskii-oblasti.html>.
5. Expro. (2022). Ukgazvidobuvannya zakupit visokotochn lchilniki dlya oblashtuvannya vuzliv obliku hazu za 132 mln grn. Отримано з <https://expro.com.ua/novini/ukrgazvidobuvannya-zakupit-visokotochn-lchilniki-dlya-oblashtuvannya-vuzlv-obliku-gazu-za-132-mln-grn>.
6. Turkowski, M., & Szufliński, P. (2013). New criteria for the experimental validation of CFD simulations. Flow Measurement and Instrumentation, 34, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.07.003>
7. Staubli, T., Luscher, B., Senn, F., & Widmen, M. (2007). CFD optimized acoustic flow measurement and laboratory verification. In Hydraulics, Water Resources, Coastal and Environmental Engineering (HYDRO-2007) (pp. 1-7). Granada, Spain.
8. Barton, N. A. (Ed.). (2002). In-service performance of ultrasonic flowmeters – Application and validation of CFD modelling methods (Technical Report No. 2002/72). National Engineering Laboratory.
9. International Organization for Standardization (ISO). (2010). Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement (ISO 17089-1:2010). Geneva.
10. Groupe Europeen de Recherches Gazieres (GERG). (2000). GERG Project on ultrasonic gas flow meters, Phase II (Technical Monograph TM 11). Brussels.
11. American Gas Association (AGA). (2003). Measurement of gas by multipath ultrasonic meters (2nd ed.) (Technical Report No. 9). Washington.
12. Research & Engineering Centre BP International Ltd. (Ed.). (1995). Installation effects on multi-path ultrasonic flow meters (Technical Report EUR 16175 EN). Sunbury, UK.
13. Shaw, C.T. (1992). Using computational fluid dynamics. Prentice Hall International (UK) Ltd.
14. International Organization for Standardization (ISO). (1998). Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using transit-time ultrasonic flowmeters (ISO/TR 12765:1998).
15. Matsson, J. E. (2022). An Introduction to SOLIDWORKS Flow Simulation 2022. SDC Publications.
16. Merzkirch, W., Gersten, K., Hans, V., et al. (Eds.). (2005). Fluid mechanics of flow metering. Springer.
17. Wilcox, D.C. (2006). Turbulence Modeling for CFD (Third Edition). DCW Industries.
18. Eesa, M. (2009). CFD studies of complex fluid flows in pipes (Doctoral dissertation). University of Birmingham.

References

1. Straits Research. (2021). Ultrasonic flowmeter market. Received from <https://straitsresearch.com/report/ultrasonic-flowmeter-market>.
2. Tsoua. (2021). Operator GTS Ukrainy pidvyshchuye tochnist ta dostovirnist obliku hazu. Received from <https://tsoua.com/news/operator-gts-ukrainy-pidvyshchuye-tochnist-ta-dostovirnist-obliku-gazu/>.
3. UTG. (2021). Operator hazoskhovishcha Ukrayini pobudue punkty vimiru hazu na dev'yati PSG vidpovidno do svitovikh standartiv. Received from <https://utg.ua/utg/media/news/2021/09/operator-gazoskhovishh-ukrani-pobudu-punkti-vimru-gazu-na-dev'yati-psg-vidpovidno-do-svtovix-standartv.html>.
4. UTG. (2019). Ukrtransgaz zapustyv hazorozpodilnu stantsiyu Kalush-2 v Ivano-Frankivskiy oblasti. Received from <https://utg.ua/utg/media/news/2019/03/ukrtransgaz-zapustyv-gazorozpodilnu-stanciu-kalush-2-v-ivano-frankivskii-oblasti.html>.
5. Expro. (2022). Ukgazvidobuvannya zakupit visokotochn lchilniki dlya oblashtuvannya vuzliv obliku hazu za 132 mln grn. Received from <https://expro.com.ua/novini/ukrgazvidobuvannya-zakupit-visokotochn-lchilniki-dlya-oblashtuvannya-vuzlv-obliku-gazu-za-132-mln-grn>.
6. Turkowski, M., & Szufliński, P. (2013). New criteria for the experimental validation of CFD simulations. Flow

Measurement and Instrumentation, 34, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.07.003>

7. Staubli, T., Luscher, B., Senn, F., & Widmen, M. (2007). CFD optimized acoustic flow measurement and laboratory verification. In *Hydraulics, Water Resources, Coastal and Environmental Engineering (HYDRO-2007)* (pp. 1-7). Granada, Spain.
8. Barton, N. A. (Ed.). (2002). In-service performance of ultrasonic flowmeters – Application and validation of CFD modelling methods (Technical Report No. 2002/72). National Engineering Laboratory.
9. International Organization for Standardization (ISO). (2010). Measurement of fluid flow in closed conduits – Ultrasonic meters for gas. Part 1: Meters for custody transfer and allocation measurement (ISO 17089-1:2010). Geneva.
10. Groupe Europeen de Recherches Gazieres (GERG). (2000). GERG Project on ultrasonic gas flow meters, Phase II (Technical Monograph TM 11). Brussels.
11. American Gas Association (AGA). (2003). Measurement of gas by multipath ultrasonic meters (2nd ed.) (Technical Report No. 9). Washington.
12. Research & Engineering Centre BP International Ltd. (Ed.). (1995). Installation effects on multi-path ultrasonic flow meters (Technical Report EUR 16175 EN). Sunbury, UK.
13. Shaw, C.T. (1992). Using computational fluid dynamics. Prentice Hall International (UK) Ltd.
14. International Organization for Standardization (ISO). (1998). Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods using transit-time ultrasonic flowmeters (ISO/TR 12765:1998). Geneva.
15. Matsson, J. E. (2022). An Introduction to SOLIDWORKS Flow Simulation 2022. SDC Publications.
16. Merzkirch, W., Gersten, K., Hans, V., et al. (Eds.). (2005). Fluid mechanics of flow metering. Springer.
17. Wilcox, D.C. (2006). Turbulence Modeling for CFD (Third Edition). DCW Industries.
18. Eesa, M. (2009). CFD studies of complex fluid flows in pipes (Doctoral dissertation). University of Birmingham.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-45>

УДК: 621.396.2

Рощенко Олексій Миколайович, старший науковий співробітник

<https://orcid.org/0000-0002-3562-5428>

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України, м. Київ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЕКТУВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ З РАДІОКАНАЛАМИ

Рощенко О.М. Дослідження особливостей проектування радіотехнічних систем з радіоканалами. У статті проведено огляд особливостей формування архітектури радіотехнічних систем з радіоканалами. Розкрито проблематику даного дослідження, наголошено, що внаслідок природних впливів, випромінююча поверхня антени деформується, змінюючи просторові амплітудно-фазові розподіли джерел збудження, що відповідають діаграмам спрямованості. Підкреслено, що сучасний математичний синтез рамок антен не дозволяє отримати рішення з необхідною точністю для антен, що складаються з криволінійних провідників або розташованих в безпосередній близькості від інших об'єктів, а також у разі антенної решітки. Запропоновано використання принципу заміни просторової діаграми спрямованості її наближеним поданням у вигляді добутку функцій, що описують одноплосинні діаграми спрямованості у головних перерізах. Окреслено математичний апарат даного підходу та описано необхідність з'єднання центру антени з центром кола, що має радіус, який дорівнює відстані від цього центру до точки спостереження. Графічно представлено модуль коефіцієнта відбиття на вході антени відповідно до результатів чисельного моделювання, за результатами якого встановлено, що для зсуву резонансної частоти антени в потрібний діапазон необхідно збільшити сумарну ємність включених в ланцюг конденсаторів. Охарактеризовано шляхи модифікації планарних конденсаторів, за обраним варіантом зроблено висновок щодо значного погіршення характеристик другого зразка. Проведені додаткові чисельні розрахунки та, як результат, отримана графічна залежність розподілу нормальної (по відношенню до площини антени) компоненти вектора напруженості магнітного поля для двох зразків, що розглядаються. Зазначається, що незважаючи на геометрично рівномірне розташування додаткових конденсаторних ліній, їх внесення до структури призводить до значної нерівномірності у розподілі поверхневого струму по периметру рамки та суттєвому зменшенню його амплітуди в окремих зонах антени. Змодельовано додаткову ситуацію коли поблизу точки живлення в розрив основного провідника додано чіп-конденсатор ємністю 0,82 пФ, а відстань між підкладкою і екраном зменшено до 25 мм. Дієвість даного підходу доведено, відзначено невелике збільшення дистанції реєстрації, що пояснюється покращенням узгодження антени з лінією живлення.

Ключові слова: принцип, архітектура, стандарт, антена, моделювання, модернізація, перепроєктування, зв'язок, мережа.

Roschenko O. Study of design features of radio engineering systems with radio channels. The article reviews the peculiarities of the formation of the architecture of radio technical systems with radio channels. The problems of this study are revealed, it is emphasized that due to natural influences, the radiating surface of the antenna is deformed, changing the spatial amplitude-phase distributions of the excitation sources corresponding to the directional diagrams. It is emphasized that the modern mathematical synthesis of frame antennas does not allow obtaining solutions with the necessary accuracy for antennas consisting of curved conductors or located in close proximity to other objects, as well as in the case of an antenna array. It is proposed to use the principle of replacing the spatial directional diagram with its approximate representation in the form of a product of functions describing single-plane directional diagrams in the main sections. The mathematical apparatus of this approach is outlined and the need to connect the center of the antenna with the center of a circle with a radius equal to the distance from this center to the observation point is described. The module of the reflection coefficient at the input of the antenna is graphically presented according to the results of numerical modeling, according to the results of which it was established that in order to shift the resonant frequency of the antenna to the desired range, it is necessary to increase the total capacity of the capacitors included in the circuit. The ways of modification of planar capacitors are characterized, according to the selected option, a conclusion is made regarding the significant deterioration of the characteristics of the second sample. Additional numerical calculations were carried out and, as a result, a graphical dependence of the distribution of the normal (with respect to the antenna plane) component of the magnetic field intensity vector was obtained for the two samples under consideration. It is noted that despite the geometrically uniform arrangement of additional capacitor lines, their introduction to the structure leads to significant unevenness in the distribution of the surface current along the perimeter of the frame and a significant decrease in its amplitude in individual areas of the antenna. An additional situation was simulated when a chip capacitor with a capacity of 0.82 pF was added near the power point to the gap of the main conductor, and the distance between the substrate and the screen was reduced to 25 mm. The effectiveness of this approach has been proven, a slight increase in the registration distance has been noted, which is explained by the improvement of the alignment of the antenna with the power line.

Keywords: principle, architecture, standard, antenna, modeling, modernization, redesign, communication, network.

Вступ та постановка проблеми. Радіотехнічні системи з радіоканалами пред'являють підвищені вимоги до перешкодозахищеності, спрямованості та точності просторової орієнтації їх антен, особливо в діапазоні надвисоких частот (НВЧ), що називається при довжині хвилі $\lambda \leq 30$ см мікрохвильовим [1, 2], породжують проблему їх оптимального проектування. Проблема ускладнюється тим, що з підвищенням робочої частоти пред'являються дедалі жорсткіші вимоги до

збереження розрахункової форми випромінюючої поверхні антени. Вид розрахункового профілю антени зазвичай відрізняється через неточність виготовлення, спотворення форми під власною вагою, а також внаслідок безпосереднього зіткнення з навколишнім середовищем, тому що піддається температурним (сезонним та добовим змінам температури, перегріву поверхні сонячним випромінюванням) і механічним, наприклад, вітровим, вібраційним чи ударним впливам. Внаслідок зазначених впливів, випромінююча поверхня антени деформується, змінюючи просторові амплітудно-фазові розподіли джерел збудження, що відповідають діаграмам спрямованості (ДС), коефіцієнт спрямованої дії (КСД) та інші характеристики антени. Це негативно впливає на характеристики радіотехнічних систем, у яких використовуються такі антени.

Через складність аналізу природи виникнення таких деформацій їх часто вважають випадковими і результат їх впливу оцінюють для сімейства вже готових антен [3], тому дуже перспективними виявляються методи математичного моделювання, що дозволяють провести аналіз впливу виробничих похибок та зовнішніх впливів на характеристики рамок антен ще на етапі проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки з'являється все більше робіт, в яких описуються механізми та принципи проектування радіотехнічних систем з радіоканалами.

М. В. Брич [1] дослідив моделі та алгоритми функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку за наявності кількох конкуруючих операторів зв'язку та високої гетерогенності технологій радіодоступу, типів пристроїв та вимог до параметрів якості передавання даних.

До питання інформаційної технології підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора підійшла О. О. Полігенько [2]. Авторкою підкреслено, що одним із головних напрямків розвитку сучасних телекомунікацій є удосконалення існуючих і створення нових поколінь стільникових мереж зв'язку, зокрема, 5G.

Р. Одарченко, Т. Дика та Н. Дика [3] здійснили огляд проблеми функціонування систем забезпечення якості у мережах п'ятого покоління. Науковцями підкреслено, що оскільки принципи управління QoE при переході від 4G до 5G будуть збережені, основні зусилля розробників 5G повинні бути зосереджені на віртуалізації втратити зв'язок із мережею, що відповідають за управління та контроль QoE в мережі.

У [4] розглянуті сучасний стан та перспективи розвитку механізмів складових безпеки: кібербезпеки, інформаційної безпеки, безпеки інформації, та інформаційних технологій.

С. І. Князев [5] здійснив аналіз тенденцій становлення та розвитку технологій мобільного зв'язку п'ятого покоління у світі та його вплив на процеси цифровізації економіки, а також визначив перспективні практики для імплементації в умовах України.

Методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку дослідив П. С. Усік [6].

Із зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи як: Авінаш, Р. і Дабхаде, Маніш і Шривастава, Кунал і Канауджіа, Бінод [7], Джайн, Аміт і Ачарья, Рупеш і Джахар, Сародж і Мішра, Тарун [8], Факії, Халід [9], Табейді, Ранія та Масаад, Самія [10], Бойкович, Зоран і Мілованович, Драгород [11], Палаццо, Марія та Сіано, Альфонсо [12], Вонг, Стен [13], Саїф, Абдулджаліл та Ісмаїл, Махамод і Нордін, Росдіаді та Абдулла Н.Ф. і Фадхіл, Мохаммед [14], Азмі, Фатін і Зубір, Фарід і Надзір, Норсаїда [15], Джаргін, Сергій [16], Шеху, Бухарі та Мубарак, Юсуф та Мустафа, Мохаммед [17] та інші.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, за темою, питання огляду принципів формування архітектури радіотехнічних систем з радіоканалами залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Формулювання мети дослідження. Провести огляд особливостей формування архітектури радіотехнічних систем з радіоканалами.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Найбільшого розвитку отримав математичний синтез рамок антен: знаходження необхідних амплітудно-фазових розподілів джерел випромінювання. Однак і тут істотне опрацювання отримали лише методи розв'язання неоднорідних інтегральних рівнянь, що базуються на варіаційних підходах, методі теорії збурень, асимптотичному методі, методі апроксимацій. Хоча ці методи виявляються дуже ефективними при наближеному розв'язанні низки завдань, наприклад, задачі про відокремлену тонку антену, з їх допомогою дуже рідко можна отримати рішення з необхідною точністю для антен, що складаються з криволінійних провідників

або розташованих в безпосередній близькості від інших об'єктів, а також у разі антенної решітки. Крім того, найбільшого розвитку набули методи, засновані на середньоквадратичних підходах до синтезу антен, тоді як перспективним підходам, заснованим на рівномірному наближенні, приділено недостатню увагу. Мало уваги приділено синтезу конструкцій рамкових антен зі складним профілем в умовах зовнішніх впливів та ще менше їх оптимізації.

Проектування рамкових антен із заданими характеристиками спрямованості це складне завдання, аналітичне рішення якого в більшості випадків виявляється неможливим. У зв'язку з цим, при вирішенні такого завдання використовуються різні наближення, серед яких найбільш поширена заміна просторової діаграми спрямованості (ДС) її наближеним поданням у вигляді добутку функцій, що описують одноплосинні ДС у головних перерізах. Це справедливо, якщо діаграма спрямованості рамкової антени по азимутальних кутах має однакову форму для різних фіксованих значень кута місця θ , і навпаки. Ця умова зазвичай виконується тим точніше, чим гостріше ДС. Дзеркальні симетричні антени відносяться до гостронаправлених, тому їх просторові ДС $F(\phi, \theta)$ можуть бути приблизно представлені як

$$F(\phi, \theta) = F(\phi)F(\theta)$$

де $F(\phi)$ – ДС у горизонтальній площині;

$F(\theta)$ – ДС у вертикальній площині.

Таким двовимірним ДС, що розділяються $F(\phi, \theta)$ відповідають і двовірні, які розділяються по розподілу поля $f(x, y)$ в декартовій системі координат, що подаються як

$$f(x, y) = f(x)f(y)$$

де $f(x)$ – розподіл поля в апертурі антени вздовж осі Ох горизонтальної площини;

$f(y)$ – розподіл поля в апертурі антени вздовж осі Оу вертикальної площини.

Таким чином, рішення задачі синтезу рамкової антени може бути зведено до визначення амплітудно-фазового розподілу джерел збудження по ДС, заданої у відповідній площині, з урахуванням форми перерізу випромінюючої поверхні.

Зовнішні дії деформують розрахунковий профіль перерізу антени, що впливає на її характеристики спрямованості. Проте оцінити цей вплив можна лише наближеними методами.

Для різних типів мікрохвильових антен з недеформованими випромінюючими поверхнями ДС, що формуються ними, можуть бути розраховані за відомими формулами [5]. Однак такий підхід не дозволяє врахувати фазові спотворення що виникають при деформації. Перспективним тут виявляється дискретне уявлення безперервної випромінюючої поверхні та, відповідно, її перерізів як системи елементарних випромінювачів.

При такому підході напруженість електричного поля E_{Σ} , створюваного системою таких випромінювачів у точці спостереження Р є суперпозицією полів окремих випромінювачів з урахуванням амплітуд і фаз збудження джерел. Відповідно до цього для головних перерізів антени розрахунковий вираз набуде вигляду:

$$E_{\Sigma i} = \sum_{i=0}^n E_{\theta i}$$

де i – номер випромінювача;

$n = 2N$ – число випромінювачів;

N – максимальний порядковий номер випромінювача щодо осі z ;

$E_{\theta i}$ – складова електричного поля, що створюється випромінювачем з індексом i .

Складова електричного поля, створювана i -м випромінювачем у напрямку точки спостереження Р може бути визначена як

$$E_{\theta i} = E_{0i} * F(\theta_i) * \frac{e^{-jkr_i}}{r_i}$$

де E_{0i} – амплітуда напруженості електричного поля, створюваного i -м випромінювачем у поверхні антени;

$F(\theta_i)$ – рівень діаграми спрямованості (ДС) i -го випромінювача в напрямку θ_i ;

θ_i – кут спостереження точки Р щодо нормалі до i -того елементарного випромінювача в його центрі;

$j = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця;

$k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число;

λ – довжина хвилі;

r_i – відстань від центру i -го випромінювача до точки спостереження P .

В якості випромінювачів можуть бути обрані лінійні елементарні джерела електромагнітних хвиль, наприклад, такі як вібратор Герца, симетричний напівхвильовий вібратор та ін.

Для математичного опису взаємного просторового становища випромінювачів і точки спостереження необхідно поєднати центр антени O з центром кола, що має радіус, що дорівнює відстані R від цього центру до точки спостереження P . Таке коло опише радіус-вектор відстані R при повороті антени щодо напрямлення P на кут рівний 360° що відповідає умовам оцінки її характеристики спрямованості. Таким чином, для визначення параметрів, що входять до розрахункових формул можна використовувати співвідношення, що випливають з геометричних уявлень.

До розгляду прийнято антену модель якої виконана у вигляді структури друкованих провідників шириною $b = 3$ мм на підкладці із склотекстоліту ($\epsilon_r = 4,7$; $tg\delta = 0,025$). Для зменшення випромінювання антени у бік, протилежний основній зоні реєстрації, з нижньої сторони підкладки на відстані $h = 40$ мм розташований екран з розмірами 200×200 мм. У провіднику антени було зроблено 7 вирізів завдовжки $g = 3$ мм. Підстроювання реактивної частини вхідного опору антени проводиться в процесі моделювання варіюванням діаметра антени ($D = 159$ мм), довжини додаткових ліній, що утворюють конденсатор ($L_1 = 61$ мм) та відстані між додатковими лініями та основним контуром антени ($t_1 = 1,5$ мм). Слід зазначити, що в конструкції довжина окремого відрізка контуру кілька перевищила теоретичне обмеження і склала $0,17$ довжини хвилі. Необхідність цього була викликана значною довжиною додаткових ліній, що забезпечує необхідну ємність.

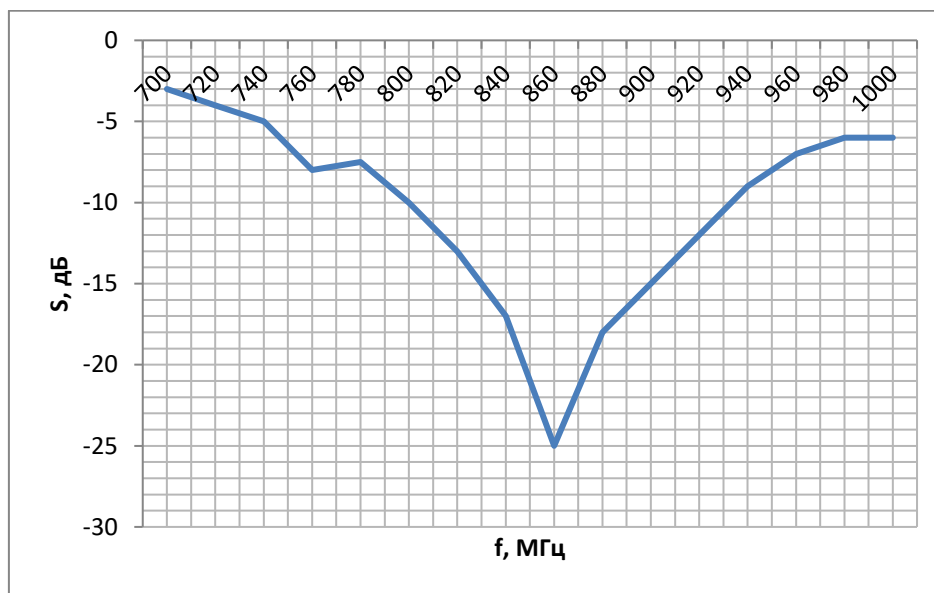


Рис. 1. Модуль коефіцієнта відбиття на вході антени

Відповідно до результатів чисельного моделювання, антена із зазначеними вище фізичними розмірами має характеристики, наведені на рисунку 1.

Центральна точка робочої лінії частот зсунута приблизно на 50 МГц щодо необхідного діапазону 865 - 870 МГц (рис. 2, графік "вимірювання").

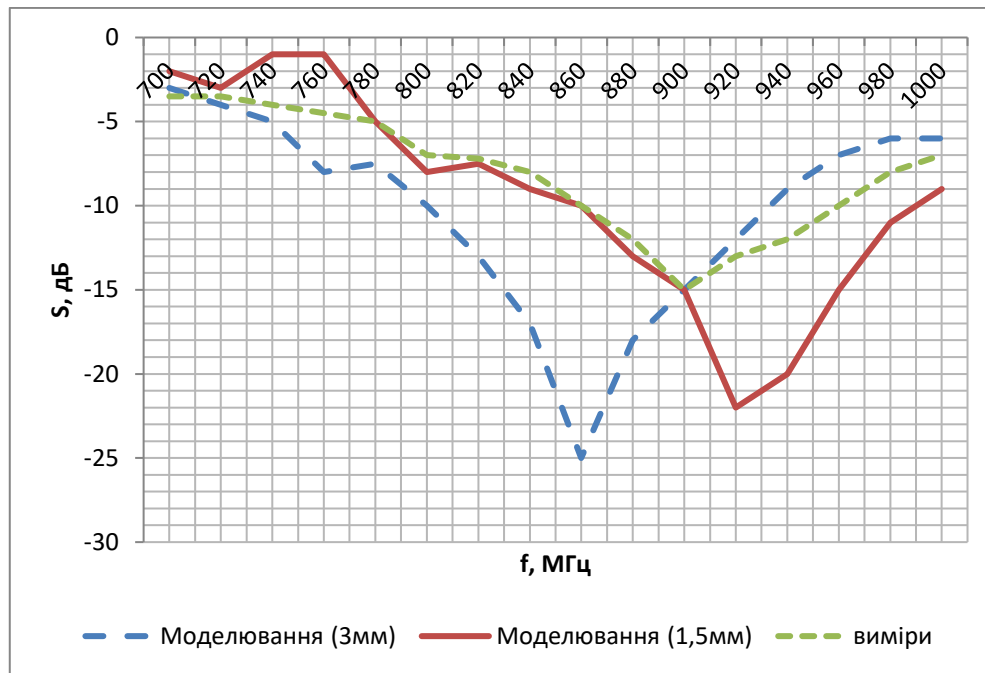


Рис. 2. Втрати для відображення на вході антени

При аналізі графіка залежності вхідного опору антени від частоти (без симетруючого трансформатора, рис. 3) було встановлено, що для зсуву резонансної частоти антени в потрібний діапазон необхідно збільшити сумарну ємність включених в ланцюг конденсаторів.

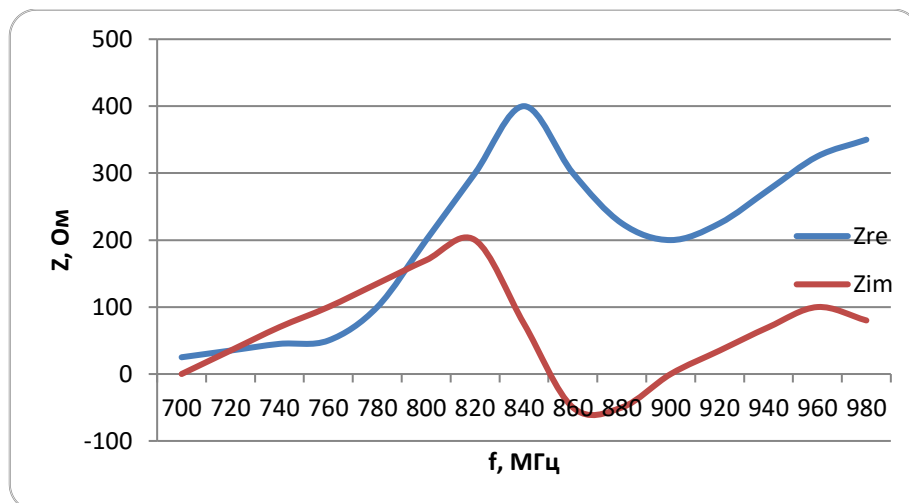


Рис. 3. Залежність вхідного імпедансу антени від частоти (без симетруючого трансформатора)

Підстроювання планарних конденсаторів може бути виконане кількома шляхами:

- 1) збільшенням довжини конденсаторних ліній;
- 2) зменшенням відстані між цими лініями та основним провідником антени;
- 3) додаванням додаткових ліній з боку, протилежного вже наявним.

Доопрацювання готової антени допускає лише останню модифікацію, то для подальшої оптимізації характеристик антени був обраний даний спосіб. В результаті реалізації даного підходу допустимий рівень узгодження в потрібному діапазоні частот було досягнуто (рис. 4, зразок 2). Для цього з внутрішньої сторони петлі необхідно розмістити додаткові конденсаторні лінії шириною $b=3$ мм, довжиною $L_2=35$ мм та відступом $t_2=1$ мм від основного провідника петлі.

В результаті виявлено значне зменшення напруженості магнітного поля у ближній зоні другого зразка антени.

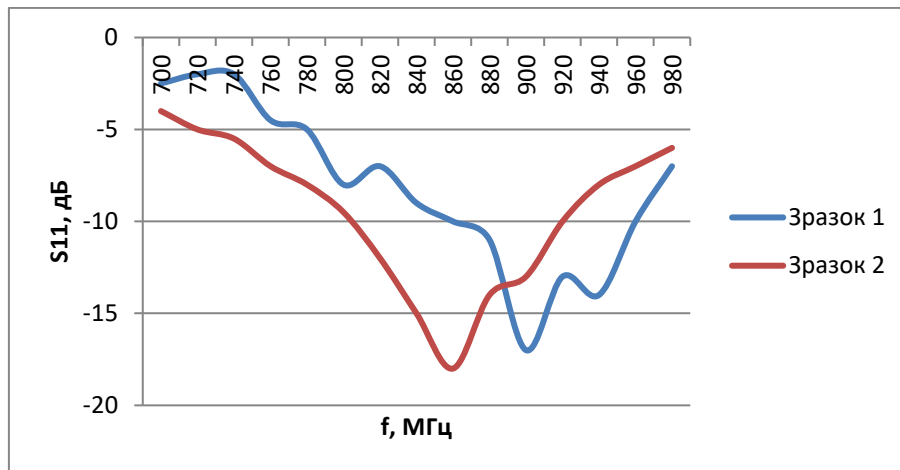


Рис. 4. Втрати на відображення на вході антени до (зразок 1) та після (зразок 2) підстроювання

Про це побічно свідчило зменшення більш ніж удвічі дистанції реєстрації міток під час використання другого зразка антени проти першого. Можливими причинами зменшення дистанції реєстрації мітки могли бути:

- 1) зміна розподілу максимумів напруженості магнітного поля над структурою антени (дистанція реєстрації міток вимірювалася лише у центральній частині антени);
- 2) значне зменшення амплітуди струму, що по периметру рамки, при включенні в конструкцію додаткових ліній.

Для виявлення дійсних причин значного погіршення характеристик другого зразка були проведені додаткові чисельні розрахунки, в результаті яких була отримана графічна залежність розподілу нормальної (по відношенню до площини антени) компоненти вектора напруженості магнітного поля X і Y (рис. 5) для двох зразків, що розглядаються.

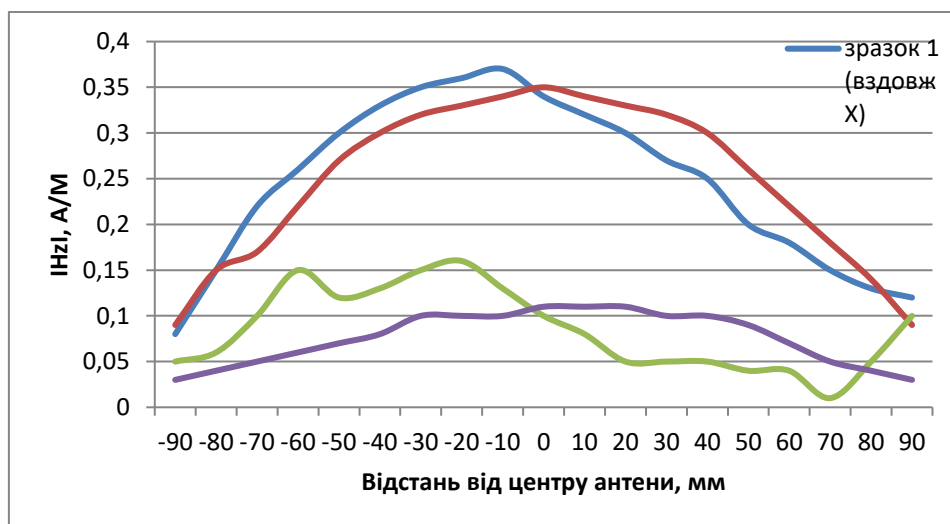


Рис. 5. Розподіл напруженості магнітного поля у ближній зоні антени (на відстані 50 мм від центру антени по осі Z)

Як видно з рисунку, незважаючи на геометрично рівномірне розташування додаткових конденсаторних ліній, їх внесення до структури призводить до значної нерівномірності у розподілі поверхневого струму по периметру рамки та суттєвому зменшенню його амплітуди в окремих зонах антени. Це, у свою чергу, згідно з графіками на рисунку 5, призводить до зменшення загальної напруженості магнітного поля та збільшення нерівномірності його розподілу вздовж осі X . В результаті точка максимуму напруженості магнітного поля зміщується від центру антени.

Для перевірки впливу взаємного розміру конденсаторних ліній, розташованих по обидва боки основного контуру рамки, на рівномірність розподілу струму по контуру антени, була додатково розглянута ситуація, коли лінії розташовувалися симетрично на відстані $t_1 = t_2 = 1,5$ мм від основного контуру петлі та мали рівні розміри $L_1 = L_2 = 37,5$ мм. Проте нерівномірний розподіл поверхневого струму по периметру антени спостерігався й у цьому випадку.

Таким чином, другий варіант конструкції конденсаторів не забезпечує необхідних характеристик і тому не може бути рекомендований до використання. З цієї причини для підстроювання вхідного опору антени був використаний інший спосіб: поблизу точки живлення в розрив основного провідника додали чіп-конденсатор ємністю 0,82 пФ, а відстань між підкладкою і екраном зменшили до 25 мм.

Повторні вимірювання дистанції реєстрації міток виявили збереження характеристик антени при даному способі її підстроювання. Було навіть відзначено невелике збільшення дистанції реєстрації, що пояснюється покращенням узгодження антени з лінією живлення.

Висновки з даного дослідження та перспективи подальших досліджень. У статті проведено огляд особливостей формування архітектури радіотехнічних систем з радіоканалами. Описано принципи моделювання та підстроювання антени. З результатів моделювання слідує, що описана антена має дуже низький рівень випромінювання з кросполяризацією, який визначається, в основному, точністю виготовлення і симетрування антени, має КНД 7 ... 8 дБ, ширину головної пелюстки ДН близько 70° в Е-площині і 86° Н-площини. Відносна смуга частот антени, у якій забезпечується $K_{CB_{MAX}} = 1,3 \dots 2,0$, становить (24...54)%, що більш ніж на 10% більше, ніж у аналогів.

Перспективами подальших досліджень є розробка макету антени та проведення натурних досліджень.

Список бібліографічного опису

1. Брич, М. (2018). В. Моделі та алгоритми функціонування гетерогенних мереж мобільного зв'язку. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі» (172 Телекомунікації та радіотехніка). Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів
2. Полігенько, О.О. (2019). Інформаційна технологія підвищення ефективності роботи базових станцій стільникового оператора. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». Національний авіаційний університет, Київ, 172 с.
3. Одарченко, Р. Дика., Т., Дика Н. (2021). Проблеми Оцінка QoE для різних випадків використання 5G / кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем: Збірник матеріалів доповідей та тез; м. Київ, 15-16 квітня 2021 року р.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка / Редкол.: О.К. Закусило. (голова) та ін. К.: ВПЦ «Київський університет». С. 20-21.
4. Кібербезпека та інформаційні технології: монографія. – Х.: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2020. 380 с
5. Князев С.І. (2021). Мобільний зв'язок п'ятого покоління та його місце у трансформаційних процесах цифровізації економіки. *Економіка промисловості*, 1(93), 46–59.
6. Усік, П.С. (2021). Методи підвищення ефективності розподіленої обробки даних в комп'ютерних системах операторів стільникового зв'язку. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія». – Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, 154 с.

References

7. Avinash, R. & Dabhade, Manish & Srivastava, Kunal & Kanaujia, Binod. (2019). Antenna Design For Fifth Generation (5G) Applications. 10.23919/URSIAP-RASC.2019.8738212.
8. Jain, Amit & Acharya, Rupesh & Jakhar, Saroj & Mishra, Tarun. (2018). Fifth Generation (5G) Wireless Technology "Revolution in Telecommunication". 1867-1872. 10.1109/ICICCT.2018.8473011.
9. Fakieh, Khalid. (2015). The Concept of Fifth Generation (5G) Mobile Technology. Communications on Applied Electronics. 2. 45-48. 10.5120/cae2015651853.
10. Tabeidi, Rania & Masaad, Samia. (2019). Survey based on Fifth Generation (5G) in wireless network. https://www.researchgate.net/publication/337683154_Survey_based_on_Fifth_Generation_5G_in_wireless_network
11. Bojkovic, Zoran & Milovanovic, Dragorad. (2017). A Technology Vision of the Fifth Generation (5G) Wireless Mobile Networks. 25-43. 10.1007/978-3-319-52171-8_2.
12. Palazzo, Maria & Siano, Alfonso. (2021). Fifth-generation (5G) communication networks and sustainability: A research agenda. CORPORATE GOVERNANCE AND RESEARCH & DEVELOPMENT STUDIES. 55-73. 10.3280/cgrds1-2021oa10459.
13. Wong, Stan. (2019). The Fifth Generation (5G) Trust Model. 10.1109/WCNC.2019.8885697.

14. Saif, Abduljalil & Ismail, Mahamod & Nordin, Rosdiadee & Abdullah, N.F. & Fadhil, Mohammed. (2021). Opportunities and Challenges for Deploying Relays in the Fifth Generation (5G) Network Wireless. International Journal of Scientific & Technology Research. 9.
15. Azmi, Fatin & Zubir, Farid & Nadzir, Norsaidah. (2019). Millimeter Wave Fifth Generation (5G) Antenna for Smartphone Application. ELEKTRIKA- Journal of Electrical Engineering. 18. 44-48. 10.11113/elektrika.v18n2.163.
16. Jargin, Sergei. (2022). Fifth generation (5G) telecommunication systems and human health (The article in Russian). 59-70. 10.33920/med-03-2201-06.
17. Shehu, Buhari & Mubarak, Yusuf & Mustapha, Mohammed. (2020). The Health Effects of the Fifth Generation (5G) of Cellular Mobile Communications.

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-53-46>

УДК 004.94:53:616-073

Капаціла Роман Ігорович¹, аспірант

<https://orcid.org/0009-0000-8618-1153>

Сверстюк Андрій Степанович², д.т.н., професор

<https://orcid.org/0000-0001-8644-0776>

¹Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна

²Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського, м. Тернопіль, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАСТАННЯ СЕРЦЕВИХ ЗАХВОРЮВАНЬ

Капаціла Р.І., Сверстюк А.С. Застосування дерев прийняття рішень для прогнозування настання серцевих захворювань. У роботі запропоновано використання дерева прийняття рішень для прогнозування виникнення серцево-судинних захворювань. У якості вхідних даних для побудови дерева прийняття рішень було використано набір даних з 12-ти основних факторів, а саме: вік, стать, характер болю в грудях, кров'яний тиск в стані спокою, рівень холестерину в крові, рівень цукру в крові, тип результату електрокардіограми у стані спокою, максимальний серцевий ритм зафіксований при огляді, наявність стенокардії при фізичному навантаженні, депресія ST сегменту спричинена фізичними вправами порівняно з відпочинком, тип нахилу піку навантаження ST сегменту та факт виявлення хвороби серця в результаті діагностики. На основі вхідного набору даних побудована кореляційна матриця досліджуваних факторів. У вигляді таблиці наведено досліджувані фактори, англійські відповідники, а також діапазон їх допустимих значень. Наведено основні кроки алгоритму побудови дерева прийняття рішень. Отримана текстова інтерпретація дерева рішень із умовами переходу для вершин. Для оцінювання якості класифікації вхідних даних на основі дерева прийняття рішень наведено результат класифікації у вигляді матриці невідповідності. Проведена оцінка прецизійності та точності моделі. У якості співвідношення між чутливістю та специфічністю проведено ROC аналіз, за результатами якого встановлено площу під ROC кривою AUC = 0.9. Отримані значення AUC відповідають відмінній якості класифікації, що є передумовою для використання запропонованого дерева прийняття рішень для проектування інформаційно-діагностичної системи прогнозування ризику виникнення серцево-судинних захворювань серця.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, прогнозування, дерева прийняття рішень, діагностика серцевих захворювань, багатфакторний аналіз

Kapatsila R., Sverstiuk A. Application of decision trees for prediction of heart disease. The study proposes the utilization of a decision tree for predicting the onset of cardiovascular diseases. A dataset consisting of 12 key factors was used as input to build a decision tree. These factors include age, gender, chest pain nature, resting blood pressure, cholesterol level, blood sugar level, type of resting electrocardiogram result, maximum heart rate observed during examination, presence of angina during physical exertion, ST segment depression induced by exercise compared to rest, slope type of the ST segment at peak exercise, and the confirmation of heart disease through diagnostics. A correlation matrix of the investigated factors was constructed based on the input dataset. The research presents a table outlining the studied factors, their English counterparts, and the acceptable ranges of their values. The fundamental steps of the decision tree construction algorithm are outlined. The test interpretation of the decision tree with transition conditions for nodes is provided. To assess the classification quality of the input data using the decision tree, the classification results are presented in the form of a confusion matrix. Precision and accuracy of the model are evaluated. A Receiver Operating Characteristic (ROC) analysis is conducted to examine the relationship between sensitivity and specificity, resulting in an Area Under the Curve (AUC) value of 0.9. The obtained AUC values correspond to excellent classification quality, serving as a prerequisite for employing the proposed decision tree in the design of an information-diagnostic system for predicting the risk of cardiovascular diseases.

Keywords: computer modeling, forecasting, decision trees, diagnosis of heart diseases, multivariate analysis

Постановка проблеми.

Протягом останніх десятиліть спостерігаємо збільшення кількості серцево-судинних захворювань та поширеність серед різних вікових груп, що спричиняє серйозні виклики для збереження здоров'я населення у всьому світі. Для ефективного прогнозування настання серцевих захворювань необхідно враховувати множину впливових факторів, таких як вік, стать, анамнез, показники крові та інші. Одним із підходів до розв'язання цієї проблеми є застосування методів машинного навчання, зокрема, дерев прийняття рішень.

Проте, при використанні дерев прийняття рішень для прогнозування серцевих захворювань виникають певні проблемами. По-перше, дерева прийняття рішень можуть виявитися недостатньо ефективними при врахуванні слабких та складних взаємозв'язків між різними факторами, що впливають на ризик серцевих захворювань. По-друге, вони можуть бути схильні до перенавчання, що призводить до втрати узагальнюючої здатності моделі на нових даних. По-третє, важливо

вирішити питання вибору оптимальних гіперпараметрів для дерев, таких як глибина, щоб уникнути перетренування чи недооцінювання важливих зв'язків.

Отже, проблема полягає в розробці та оптимізації багатофакторних моделей прогнозування серцевих захворювань, які використовують дерева прийняття рішень, з урахуванням їхньої точності, ефективності та здатності узагальнення до нових даних.

Постановка завдання.

Мета даного дослідження полягає в розробці багатофакторної моделі прогнозування настання серцевих захворювань на основі ряду клінічних факторів, з використанням дерев прийняття рішень як інструменту машинного навчання.

Завдання включають:

1. Збір та обробка даних, а саме проведення аналізу даних та визначення їхньої якості та придатності для моделювання.
2. Розробити багатофакторну модель, визначивши ключові фактори, що впливають на ризик серцевих захворювань.
3. Використовувати дерева прийняття рішень для побудови моделі та врахування взаємозв'язків між факторами.
4. Здійснити валідацію моделі для перевірки її точності та узагальнення на нових даних.
5. Використати метрики ефективності для оцінки точності та робастності моделі.

Побудова та оцінка моделі.

Метод багатофакторного аналізу прогнозування настання серцевих захворювань з урахуванням найбільш поширених та широкодоступних медичних показників дозволяє створити математичну модель для оцінки та прогнозування можливого настання серцевих захворювань. Застосування даної моделі дає змогу використовувати обмежений масив інформації для попередження потенційних ризиків, які пов'язані із настанням серцево-судинних захворювань.

Оригінальна база даних включає в себе 76 атрибутів і ґрунтується на результатах неінвазивних клінічних досліджень, проведених у ряді медичних установ, а саме: Клініка Клівленда, штат Огайо, США; Інститут Кардіології в Будапешті, Угорщина; Медичний центр адміністрації ветеранів у Лонг-Біч, Каліфорнія, США; та університетські лікарні Цюріха та Базеля, Швейцарія. Після комплексного аналізу всіх вхідних даних та виключення неконсистентних записів був сформований набір з 12 факторів. Зокрема, база даних з Клініки Клівленда вважається найбільш повною та є основою для даного дослідження [1]. Імена та номери соціального страхування пацієнтів з етичних міркувань були виключені з бази даних та замінені фіктивними значеннями. Для подальшого аналізу, побудови моделі та її оцінки використано агрегований набір даних з 12 основними факторами [1], який містить 746 унікальних записів, в яких середній вік пацієнтів становив 53 роки. У вхідній вибірці дані щодо статевого розподілу вказують на 79% чоловіків та 21% жінок. Приклад отримання діагностичної інформації з електрокардіосигналів наведено в роботі [2]

Наступним кроком проведено побудову матриці кореляції [3] для оцінювання можливості використання всіх факторів для подальшої побудови моделі. Як видно із матриці кореляції (рис.1) прямих залежностей між факторами аналізу не було виявлено.

Для побудови моделей прогнозування настання серцевих захворювань відібрано наступні фактори: вік, стать, характер болю в грудях, кров'яний тиск в стані спокою, рівень холестерину в крові, рівень цукру в крові, тип результату електрокардіограми у стані спокою, максимальний серцевий ритм зафіксований при огляді, наявність стенокардії при фізичному навантаженні, депресія ST сегменту спричинена фізичними вправами порівняно з відпочинком, тип нахилу піку навантаження ST сегменту та факт виявлення хвороби серця в результаті діагностики [4].

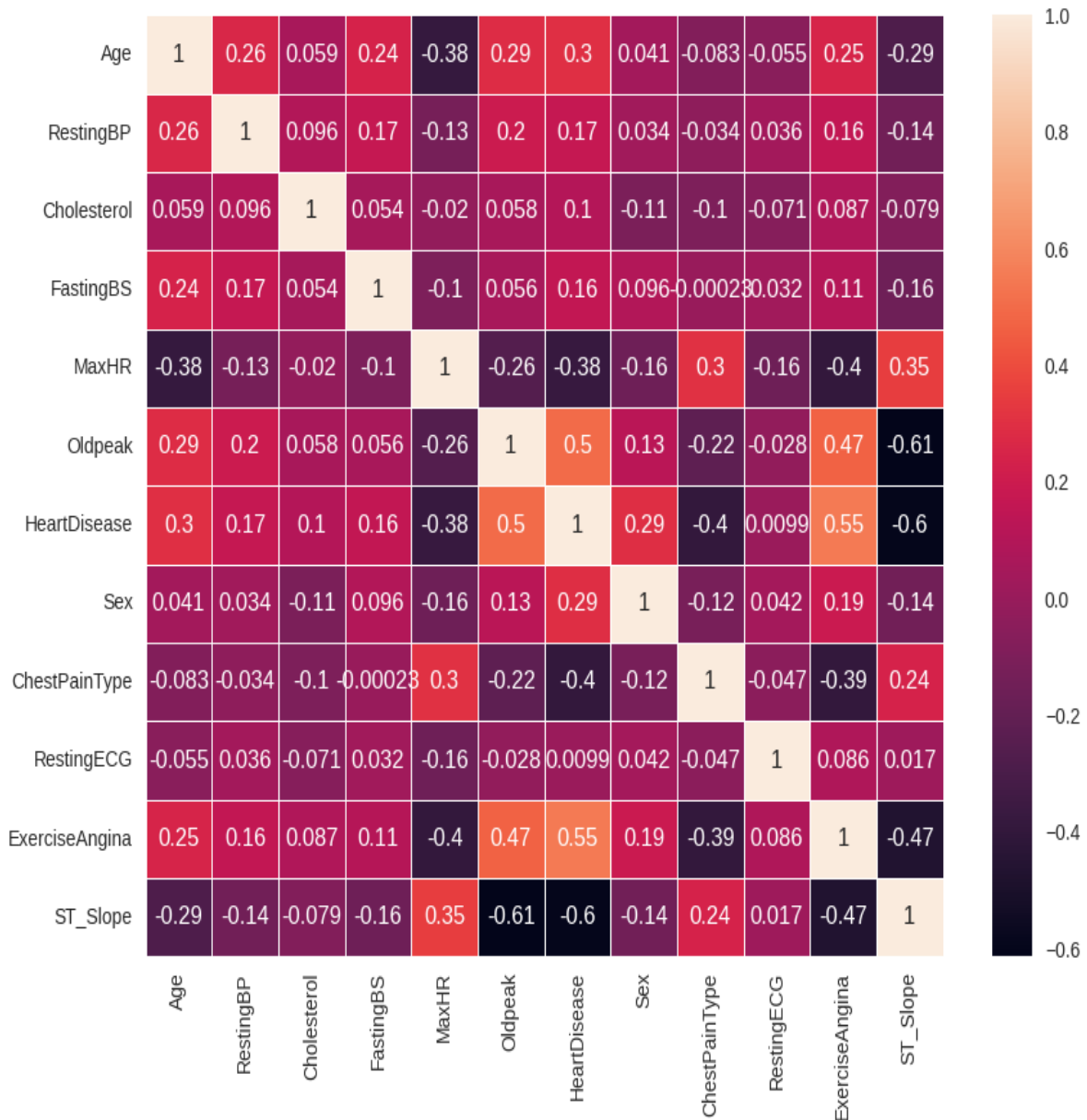


Рис.1. Матриця кореляції досліджуваних факторів

Базуючись на методі оцінки адекватності факторів Кайзера-Мейера-Олкіна [5] проводимо аналіз обраного набору даних в результаті якого отримуємо значення 0.80 чого достатньо для подальшої побудови моделі.

Таблиця 1. Досліджувані фактори ризику виникнення серцево-судинних захворювань серця.

Назва факторів	Англomовні позначення досліджуваних факторів у вхідному наборі даних	Діапазон допустимих значень у вхідному наборі даних
Вік	Age	0 - 99
Кров'яний тиск в стані спокою	RestingBP	0 - 200
Рівень холестерину	Cholesterol	0 - 603

Рівень цукру	FastingBS	0 - 1
Максимальний серцевий ритм зафіксований при огляді	MaxHR	60 - 202
Депресія ST сегменту спричинена фізичними вправами порівняно з відпочинком	Oldpeak	0 – 6.2
Стать	Sex	0, 1
Тип болю в грудях	ChestPainType	0, 1, 2, 3
Тип результату електрокардіограми у стані спокою	RestingECG	0, 1, 2
Наявність стенокардії при фізичному навантаженні	ExerciseAngina	1, 0
Тип нахилу піку навантаження ST сегменту	ST_Slope	0, 1, 2

Серед 12 проаналізованих початкових факторів та побудованої матриці кореляції відібрано 11 факторів ризику [6] для передбачення останнього фактору який індикує наявність серцевих захворювань. Для побудови моделі буде використано фактори, що найбільше впливають на появу серцевих захворювань: вік, кров'яний тиск в стані спокою, рівень холестерину в крові, рівень цукру в крові, максимальний серцевий ритм зафіксований при огляді, депресія ST сегменту спричинена фізичними вправами порівняно з відпочинком, стать, тип болю в грудях, тип результату електрокардіограми у стані спокою, наявність стенокардії при фізичному навантаженні, тип нахилу піку навантаження ST сегменту. Детальна інформація та допустимі значення проаналізованих факторів ризику розвитку серцевих захворювань, що були використані для побудови моделі, наведено в Таблиці 1.

На основі отриманих результатів багатофакторного аналізу прогнозування ризику виникнення серцевих захворювань отримано дерево прийняття рішень для прогнозування ризику виникнення серцевих захворювань [7], яке наведено на рис. 2.

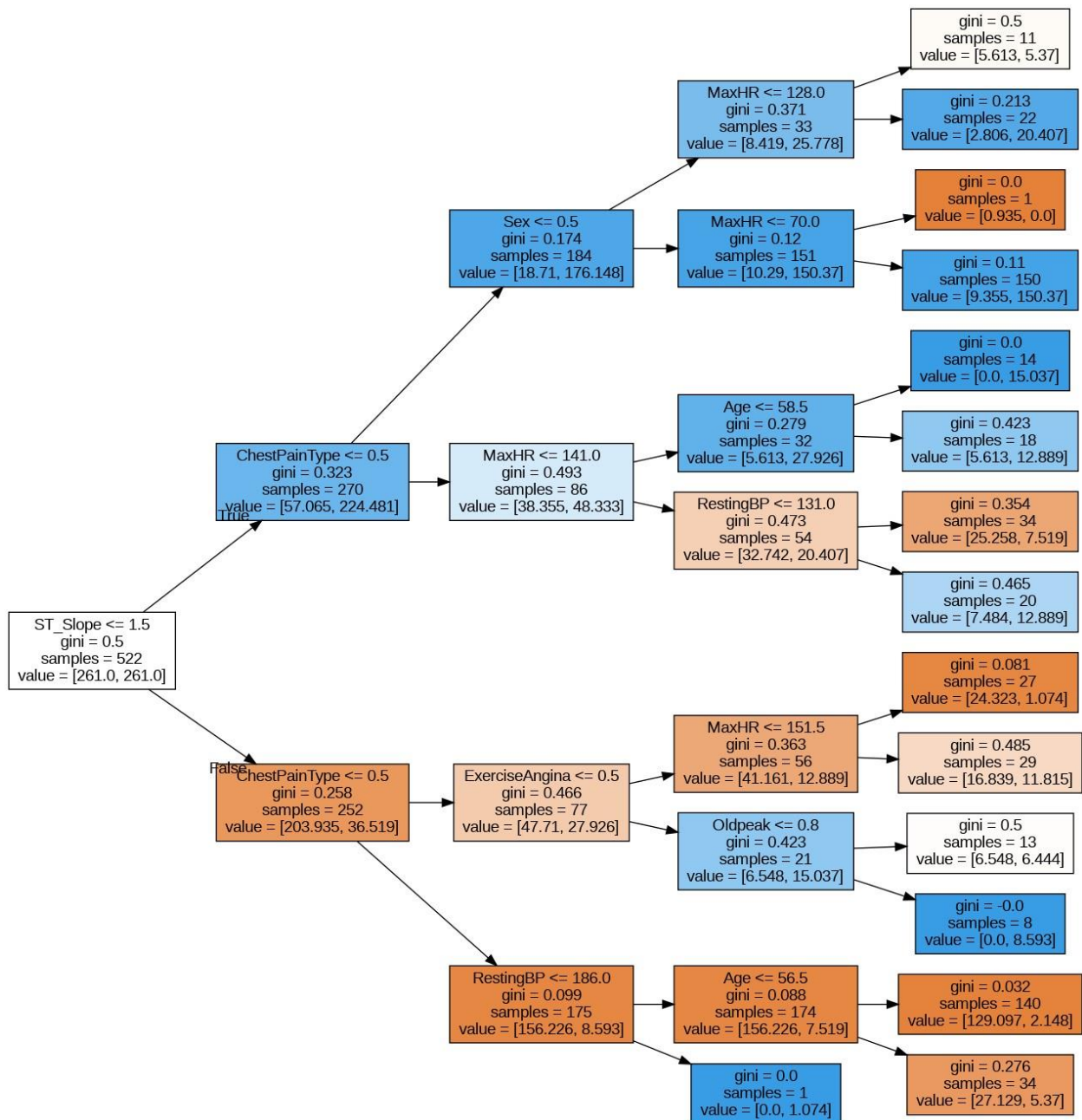


Рис.2. Дерево прийняття рішень ризику виникнення серцево-судинних захворювань серця

Для побудови дерева прийняття рішень використано алгоритм CART (Classification and Regression Trees) [8]. Більш детальна репрезентація дерева прийняття рішень наведена на рис. 3 із приведенням умов переходів для кожної із вершин.

```

|--- ST_Slope <= 1.50
| |--- Sex <= 0.50
| | |--- Oldpeak <= 0.50
| | | |--- FastingBS <= 128.00
| | | | |--- weights: [5.61, 5.37] class: 0.0
| | | | |--- FastingBS > 128.00
| | | | |--- weights: [2.81, 20.41] class: 1.0
| | | |--- Oldpeak > 0.50
| | | |--- FastingBS <= 70.00
| | | | |--- weights: [0.94, 0.00] class: 0.0
    
```

```

| | | |--- FastingBS > 70.00
| | | |--- weights: [9.35, 150.37] class: 1.0
| | | |--- Sex > 0.50
| | | |--- FastingBS <= 141.00
| | | |--- Age <= 58.50
| | | |--- weights: [0.00, 15.04] class: 1.0
| | | |--- Age > 58.50
| | | |--- weights: [5.61, 12.89] class: 1.0
| | | |--- FastingBS > 141.00
| | | |--- RestingBP <= 131.00
| | | |--- weights: [25.26, 7.52] class: 0.0
| | | |--- RestingBP > 131.00
| | | |--- weights: [7.48, 12.89] class: 1.0
| | | |--- ST_Slope > 1.50
| | | |--- Sex <= 0.50
| | | |--- ExerciseAngina <= 0.50
| | | |--- FastingBS <= 151.50
| | | |--- weights: [24.32, 1.07] class: 0.0
| | | |--- FastingBS > 151.50
| | | |--- weights: [16.84, 11.81] class: 0.0
| | | |--- ExerciseAngina > 0.50
| | | |--- MaxHR <= 0.80
| | | |--- weights: [6.55, 6.44] class: 0.0
| | | |--- MaxHR > 0.80
| | | |--- weights: [0.00, 8.59] class: 1.0
| | | |--- Sex > 0.50
| | | |--- RestingBP <= 186.00
| | | |--- Age <= 56.50
| | | |--- weights: [129.10, 2.15] class: 0.0
| | | |--- Age > 56.50
| | | |--- weights: [27.13, 5.37] class: 0.0
| | | |--- RestingBP > 186.00
| | | |--- weights: [0.00, 1.07] class: 1.0

```

Рис.3 – Текстова інтерпретація дерева рішень із умовами переходу між вершинами

Алгоритм CART – це алгоритм для побудови дерев прийняття рішень, який може використовуватися як для задач класифікації, так і для регресії. CART був розроблений Лео Брейманом, Джеромом Фрідманом, Чарльзом Дж. Стоуном та Ріхардом Олшеном [9, 10].

Даний алгоритм можна розбити на наступні кроки:

1. Вибір атрибута для розділення (Splitting Attribute):

○ Визначається критерій вибору, такий як коефіцієнт Gini для класифікації або середньоквадратична помилка для регресії.

○ Вибирається атрибут і поріг, що максимізують чистоту вузлів або мінімізують помилковість.

2. Розділення вузла:

○ Дані розділяються на дві частини відповідно до вибраного атрибута та порогу.

○ Формуються два нових вузли дерева.

3. Рекурсивний процес:

○ Процес рекурсивно повторюється для кожного нового вузла, розглядаючи його як точку вибору нового атрибута для поділу.

4. Зупинка рекурсії (Stopping Criteria):

○ Рекурсія зупиняється, коли досягнуті умови зупинки, такі як максимальна глибина дерева, мінімальна кількість прикладів у вузлі або інші визначені умови.

5. Прогноз для листа:

- Кожен листовий вузол призначається певному значенню класу.

Далі детальніше розглянемо сам процес побудови дерева у рамках даного дослідження. Для побудови дерева рішень критерієм вибору буде обчислення індексу Gini [11]. Індекс Gini у нашому контексті можна обрахувати наступним чином:

$$Gini(T) = 1 - \sum_{j=1}^n p_j^2, \quad (1)$$

де T – поточний вузол, p_j – імовірність класу j у вузлі T , n – кількість класів.

Вибір атрибута та порогу для подальшого розділення визначається шляхом максимізації/мінімізації вагових значень індексу Gini для двох нових вузлів, що виникають в результаті розділу:

$$Gini_split = \frac{N_L}{N} Gini(T_L) + \frac{N_R}{N} Gini(T_R), \quad (2)$$

де N_L і N_R – кількість прикладів у лівому та правому піддереві відповідно, N – загальна кількість прикладів у вузлі, $Gini(T_L)$ і $Gini(T_R)$ – індекс Gini для лівого та правого піддереві відповідно.

Цей процес рекурсивно повторюється, і дерево формується шляхом оптимізації індексу Gini на кожному кроці. Такий підхід дозволяє побудувати дерево, яке робить оптимальні розділи для класифікації.

На кожному етапі побудови дерева вибирається оптимальний роздільний атрибут, який максимізує індекс Gini або мінімізує помилковість. Для цього можна використовувати методи оптимізації, такі як пошук по всіх можливим роздільних атрибутів та їх порогів. За допомогою рекурсивного процесу повторюємо процес вибору роздільного атрибута та його порогу для кожного нового вузла, аж до виконання умови зупинки.

Рекурсія зупиняється при досягненні умови зупинки, такої як максимальна глибина дерева, яка у даному випадку рівна 4.

Мета алгоритму CART – мінімізувати цей індекс Gini під час кожного розділу для отримання більш точного та чистого дерева класифікації.

Після побудови моделі на основі дерева прийняття рішень наступним кроком буде аналіз прецизійності та чутливості моделі [12]. Чутливість вимірює частку фактичних позитивних випадків, які модель правильно ідентифікувала. Цей показник має вирішальне значення в охороні здоров'я, де нездатність визначити стан (наприклад, рак або хворобу серця) може мати серйозні або навіть летальні наслідки. Точність вимірює частку позитивних ідентифікацій, які були насправді правильними. У сфері охорони здоров'я висока точність означає, що поставлений діагноз є більш надійним. Нижча точність може призвести до хибно позитивних результатів, що може призвести до непотрібного лікування чи тестів, викликаючи стрес і додаткові витрати на лікування.

З метою оцінки якості моделі необхідно отримати точність класифікації моделі. Засобами Python [13] обраховуємо точність та отримуємо значення в 0.85, що відповідає 85% точності прогнозування на основі вхідних параметрів. Матриця невідповідності наведена на рис. 4.

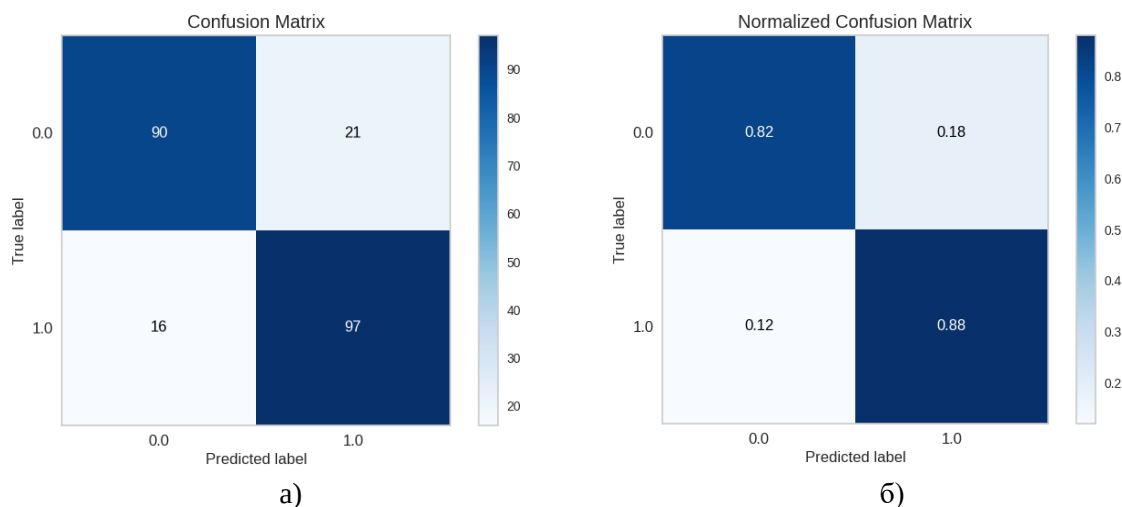


Рис.4. а) Матриця невідповідності; б) – Нормалізована матриця невідповідності

Для перевірки нашої моделі можна використати F-міру [14]: це показник, який поєднує прецизійність і чутливість в одне значення, що дозволяє легше оцінити продуктивність моделі. Це гармонійне середнє значення чутливості та прецизійності, спрямоване на збалансування двох показників. F-міра коливається від 0 до 1, де 1 вказує на ідеальну прецизійність і чутливість, а 0 означає відсутність чутливості та прецизійності. F-міра особливо корисна в ситуаціях, коли розподіл класів є незбалансованим, або коли кількість хибно позитивних та хибно негативних результати значно відрізняються, що часто буває в охороні здоров'я. Наприклад, відсутність діагнозу (хибно негативний результат) може мати серйозніші наслідки, ніж неправильне встановлення діагнозу здоровому пацієнту (хибно позитивний результат).

На рис. 5 приведено значення для прецизійності, чутливості та F-міри. Як видно із результату середнім значенням є 0.85, що означає що у 85% випадків ми отримаємо коректний результат при аналізі вхідних даних.

	precision	recall	f1-score	support
Normal (0)	0.87	0.82	0.84	111
Heart Disease (1)	0.83	0.88	0.85	113
accuracy			0.85	224
macro avg	0.85	0.85	0.85	224
weighted avg	0.85	0.85	0.85	224

Рис.5. Оцінка прецизійності та чутливості моделі

Ще одна вкрай важлива метрика для оцінки точності моделі є специфічність, яка є дуже важливим показником завдань класифікації у сфері охорони здоров'я [15], особливо коли потрібно мінімізувати кількість помилкових спрацювань за результатами математичного моделювання кардіосигналів [16-18]. У медичному світі це може означати неправильне діагностування пацієнта як хворого, хоча він насправді здоровий, що призведе до непотрібного стресу, додаткових тестів і, можливо, навіть лікування. Специфічність вимірює частку фактично негативних (без захворювання), які правильно визначені як такі. Іншими словами, це спосіб виміряти, наскільки добре модель правильно ідентифікує тих, хто не має захворювання. Висока специфічність означає, що тест добре допомагає уникнути хибно позитивних результатів, що робить його цінним у медичному закладі, де ціна помилкового діагнозу може бути високою. Це особливо важливо для скринінгових тестів, гарантуючи, що лише ті, хто ймовірно має захворювання, будуть направлені на більш детальне обстеження. Для обрахунку специфічності можна використати наступну формулу:

$$\text{Специфічність} = \frac{\text{True Negative (TN)}}{\text{True Negative (TN)} + \text{False Positive (FP)}}, \quad (3)$$

де True Negative (TN) – кількість випадків, коли модель правильно визначила відсутність класу; False Positive (FP) – кількість випадків, коли модель помилково визначила наявність класу.

Для описаної моделі дане значення 0.82, що відповідає 82% специфічності.

Щоб описати більш точно співвідношення істинних спрацювань до хибно позитивних спрацювань для запропонованої моделі побудовано графік ROC на рис. 6 [17, 18]. Для кращої оцінки продуктивності моделі класифікації обраховуємо площу під кривою ROC (AUC) [19, 20]. Для запропонованої моделі AUC становить 0.90, що є високим значенням, а чим вище AUC, тим краще модель розрізняє класи.

Подальше використання описаної математичної моделі, що враховує можливі фактори ризику появи серцевих захворювань, забезпечує можливість простого та швидкого аналізу вхідних даних пацієнта для швидкого реагування на потенційне виникнення серцевих захворювань. Даний підхід дозволяє простіше та швидше виявляти серцеві захворювання та застосовувати ефективні методи лікування та попереджувати більш серйозні наслідки захворювання потенційних пацієнтів.

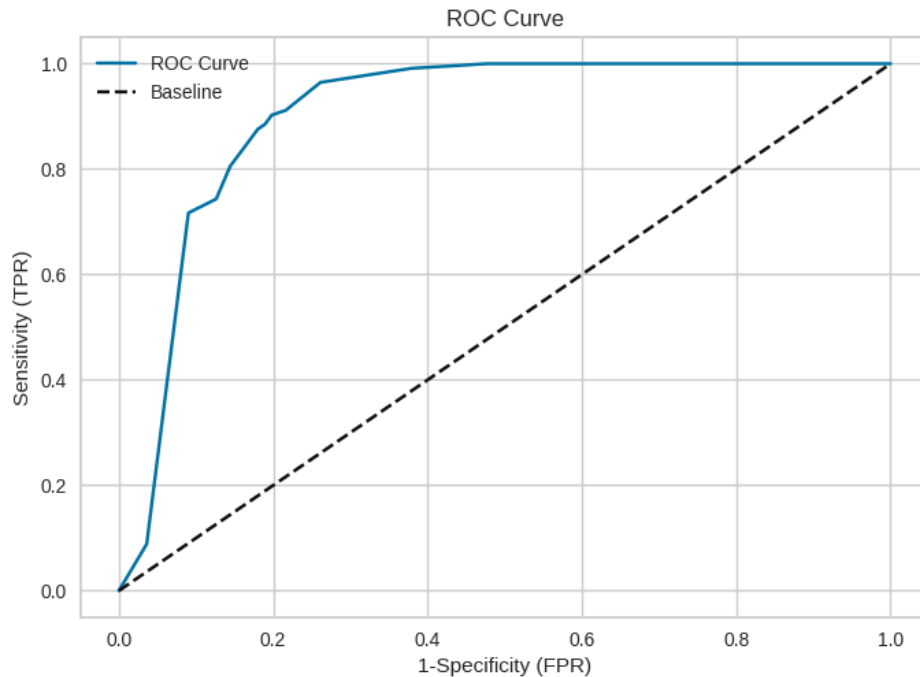


Рис.6. ROC крива

Подібні підходи також досліджуються в сучасних наукових роботах [21], пов'язаних із прогнозуванням та аналізом ряду базових показників для серцевої діагностики. Згідно із останніми дослідженнями доволі вагомим фактором виникнення серцевих хвороб залишаються рівень холестерину в крові людини, проте іншими вагомими факторами є рівень цукру в крові. Зазвичай першими симптомами будуть біль у грудях, підвищений кров'яний тиск та підвищена частота серцебиття особливо в результаті невеликих навантажень. Додатковими факторами, які не були включені в дану модель, є наявність ожиріння у пацієнта [22]. Також деякі дослідження вказують на залежність між рівнем стресу та ішемічними захворюваннями [23]. Хоча дані фактори і не були включені в дану модель, їхній вплив може бути врахований при подальшій деталізації та покращенні запропонованої моделі.

Наявні методи кардіодіагностики дозволяють отримати доволі багато інформації з використанням порівняно дешевих та простих методів діагностики. Також багато коли використовується метод анкетування [24] з метою отримання додаткової інформації для аналізу факторів ризику. Беручи до уваги дані факти можна зробити припущення про потенційну перспективність розвитку моделювання настання серцево-судинних захворювань шляхом аналізу більшої кількості вхідних факторів, що безпосередньо впливають на виникнення захворювань.

Базуючись на отриманих результатах, включаючи вплив медико-біологічних факторів [25] у пацієнтів із потенційними або наявними захворюваннями серця можливим буде використання запропонованої математичної моделі для проектування інформаційно-діагностичної системи оцінювання та прогнозування настання серцево-судинних захворювань. У наступних дослідженнях необхідно провести ширший аналіз можливих факторів та опрацювати можливість підвищення результатів передбачення та класифікації шляхом зміни порогових значень ідентифікації можливості потенційного настання захворювань серця.

Висновки та перспективи подальших дослідження. Запропонована математична модель, яка враховує фактори ризику настання серцево-судинних захворювань та дає змогу завчасно передбачити настання потенційних ускладнень або можливості виникнення захворювання в цілому. Також дана модель дасть змогу зменшити кількість звернень пов'язаних із хворобами серця за рахунок подальшої профілактики та зменшення впливу факторів ризику на організм пацієнта. Базуючись на результатах ROC аналізу, а саме опираючись на показник AUC, який становить 0.9, можна зробити висновок про те, що запропонована модель є перспективною для використання при проектуванні інформаційно-діагностичної системи прогнозування ризику виникнення серцево-судинних захворювань серця.

У наступних дослідженнях необхідно використати інші методи прогнозування настання серцевих захворювань, серед яких доцільно виділити багатофакторний регресійний аналіз, РСА-метод, нейромережі.

Список бібліографічного опису

1. Janosi Andras, Steinbrunn William, Pfisterer Matthias, Detrano Robert. 1988. Heart Disease. UCI Machine Learning Repository. doi: 10.24432/C52P4X.
2. Мазуренко В. П. Статистика: навч.-метод. посіб. / В. П. Мазуренко. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2006.
3. Сверстюк А. С. Обґрунтування та верифікація математичної моделі синхронно зареєстрованих кардіосигналів з використанням вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2009. № 1. С. 143–147.
4. Sofogianni A, Stalikas N, Antza C, Tziomalos K. Cardiovascular Risk Prediction Models and Scores in the Era of Personalized Medicine. J Pers Med. 2022. doi: 10.3390/jpm12071180.
5. Kaiser, H.F. An index of factorial simplicity. Psychometrika 39, 31–36 (1974). doi: 10.1007/bf02291575
6. Mensah, George A., Gregory A. Roth, and Valentin Fuster. "The global burden of cardiovascular diseases and risk factors: 2020 and beyond." Journal of the American College of Cardiology 74.20 (2019): 2529-2532.
7. Хом'юк І.В., Хом'юк В.В., Краєвський В.О. Теорія імовірностей та математична статистика. Навчальний посібник. / Вінниця: ВНТУ, 2009. – 189 с.
8. Geron A. Applied machine-learning using Scikit-learn and TensorFlow. 2018. Vol. 1.
9. Breiman, L. ; Friedman, Jerome H. ; Olshen, Richard A. ; Stone, C. J.: Classification and Regression Trees. In: , 1984
10. David James. 2018. Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Beginners in Data Science (1st. ed.). CreateSpace Independent Publishing Platform, North Charleston, SC, USA.
11. Tangirala, Suryakanthi. "Evaluating the impact of GINI index and information gain on classification using decision tree classifier algorithm." International Journal of Advanced Computer Science and Applications 11.2 (2020): 612-619.
12. Altman DG, Bland JM. Diagnostic tests. 1: Sensitivity and specificity. BMJ. 1994 Jun 11;308(6943):1552. doi: 10.1136/bmj.308.6943.1552.
13. Unpingco, Jose. Python for Probability, Statistics, and Machine Learning. 2019.
14. Leon Derczynski. Complementarity, F-score, and NLP Evaluation. In Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'16), Portorož, Slovenia. European Language Resources Association (ELRA). 2016.
15. Ghiasi, Mohammad M., Sohrab Zendeheboudi, and Ali Asghar Mohsenipour. "Decision tree-based diagnosis of coronary artery disease: CART model." Computer methods and programs in biomedicine 192 (2020): 105400.
16. Лупенко С., Зозуля А., Сверстюк А., Стадник Н. Математичне моделювання та методи опрацювання сигналів серця на базі циклічних випадкових процесів та векторів. Sciences and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, VI (20). Issue 172. P. 47-54.
17. Лупенко С.А., Сверстюк А.С., Луцик Н.С., Стадник Н.Б., Зозуля А.М. Умовний циклічний випадковий процес як математична модель коливних сигналів та процесів із подвійною стохастичністю. Поліграфія і видавнича справа. 2016. № 1(71). С.147-159.
18. Lupyenko S., Lytvynenko Ia., Sverstiuk A., Shelestovskyi B., Horkunenko A. Software for statistical processing and modeling of synchronously registered cardio signals. The Fourth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2021). 27 of April 2021, Zaporizhzhia, Ukraine. p. 194 - 205.
19. Hu, Nan. "Using Receiver Operating Characteristic (ROC) Analysis to Evaluate Information-Based Decision-Making." Advanced Methodologies and Technologies in Business Operations and Management, edited by Mehdi Khosrow-Pour, D.B.A., IGI Global, 2019, pp. 764-776. doi: 10.4018/978-1-5225-7362-3.ch057
20. Carrington A.M. et al., "Deep ROC Analysis and AUC as Balanced Average Accuracy, for Improved Classifier Selection, Audit and Explanation," in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 45, no. 1, pp. 329-341, 1 Jan. 2023, doi: 10.1109/TPAMI.2022.3145392.
21. Townsend N., Nichols M., Scarborough P., Rayner M. Cardiovascular disease in Europe—Epidemiological update 2015. Eur. Heart J. 2015;36:2696–2705. doi: 10.1093/eurheartj/ehv428.
22. Powell-Wiley, Tiffany M., et al. "Obesity and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association." Circulation 143.21 (2021): e984-e1010.
23. Szyller, Jakub, and Iwona Bil-Lula. "Heat shock proteins in oxidative stress and ischemia/reperfusion injury and benefits from physical exercises: a review to the current knowledge." Oxidative Medicine and Cellular Longevity 2021 (2021): 1-12.
24. Raffle, Angela E., and JA Muir Gray. Screening: evidence and practice. Oxford University Press, USA, 2019.
25. Марценюк В.П., Кравець Н.О., Сверстюк А.С. Інформаційна система медико-біологічних досліджень: проект на основі Web-технологій. Український журнал телемедицини та медичної телематики. 2003. №1(1). С. 57-60.

References

1. Janosi Andras, Steinbrunn William, Pfisterer Matthias, Detrano Robert. 1988. Heart Disease. UCI Machine Learning Repository. doi: 10.24432/C52P4X.

2. Mazurenko V. P. Statystyka: navch.-metod. posib. / V. P. Mazurenko. – K.: VPTs «Kyivskyy universytet», 2006.
3. Sverstiuk A.S. Obhruntuvannia ta veryfikatsiia matematychnoi modeli synkhronno zareiestrovanykh kardiosyhnaliv z vykorystanniam vektora tsyklichnykh rytmichno pov'iazanykh vypadkovykh protsesiv. Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika v tekhnolohichnykh protsesakh. 2009. № 1. S. 143–147.
4. Sofogianni A, Stalikas N, Antza C, Tziomalos K. Cardiovascular Risk Prediction Models and Scores in the Era of Personalized Medicine. *J Pers Med*. 2022. doi: 10.3390/jpm12071180.
5. Kaiser, H.F. An index of factorial simplicity. *Psychometrika* 39, 31–36 (1974). doi: 10.1007/bf02291575
6. Mensah, George A., Gregory A. Roth, and Valentin Fuster. "The global burden of cardiovascular diseases and risk factors: 2020 and beyond." *Journal of the American College of Cardiology* 74.20 (2019): 2529-2532.
7. Khom'yuk I.V., Khom'yuk V.V., Krayevs'kyi V.O. Teoriya imovirnostey ta matematychna statystyka. Navchal'nyy posibnyk. / Vinnytsya: VNTU, 2009. – 189 s.
8. Geron A. Applied machine-learning using Scikit-learn and TensorFlow. 2018. Vol. 1.
9. Breiman, L. ; Friedman, Jerome H. ; Olshen, Richard A. ; Stone, C. J.: Classification and Regression Trees. In: , 1984
10. David James. 2018. Introduction to Machine Learning with Python: A Guide for Beginners in Data Science (1st. ed.). CreateSpace Independent Publishing Platform, North Charleston, SC, USA.
11. Tangirala, Suryakanthi. "Evaluating the impact of GINI index and information gain on classification using decision tree classifier algorithm." *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 11.2 (2020): 612-619.
12. Altman DG, Bland JM. Diagnostic tests. 1: Sensitivity and specificity. *BMJ*. 1994 Jun 11;308(6943):1552. doi: 10.1136/bmj.308.6943.1552.
13. Unpingco, Jose. Python for Probability, Statistics, and Machine Learning. 2019.
14. Leon Derczynski. Complementarity, F-score, and NLP Evaluation. In Proceedings of the Tenth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'16), Portorož, Slovenia. European Language Resources Association (ELRA). 2016.
15. Ghiasi, Mohammad M., Sohrab Zendeheboudi, and Ali Asghar Mohsenipour. "Decision tree-based diagnosis of coronary artery disease: CART model." *Computer methods and programs in biomedicine* 192 (2020): 105400.
16. Lupenko S., Zozulia A., Sverstiuk A., Stadnyk N. Matematychni modeliuvannia ta metody opratsiuvannia syhnaliv sertsia na bazi tsyklichnykh vypadkovykh protsesiv ta vektoriv. Sciences and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences. 2018. VI (20). Issue 172. P. 47-54.
17. Lupenko S.A., Sverstiuk A.S., Lutsyk N.S., Stadnyk N.B., Zozulia A.M. Umovnyi tsyklichnyi vypadkovyi protses yak matematychna model kolyvnykh syhnaliv ta protsesiv iz podviinoiu stokhastychnosti. Polihrafiia i vydavnycha sprava. 2016. № 1(71). S.147-159.
18. Lupenko S., Lytvynenko Ia., Sverstiuk A., Shelestovskyi B., Horkunenko A. Software for statistical processing and modeling of synchronously registered cardio signals. The Fourth International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2021). 27 of April 2021, Zaporizhzhia, Ukraine. p. 194 - 205.
19. Hu, Nan. "Using Receiver Operating Characteristic (ROC) Analysis to Evaluate Information-Based Decision-Making." *Advanced Methodologies and Technologies in Business Operations and Management*, edited by Mehdi Khosrow-Pour, D.B.A., IGI Global, 2019, pp. 764-776. doi: 10.4018/978-1-5225-7362-3.ch057
20. M. Carrington et al., "Deep ROC Analysis and AUC as Balanced Average Accuracy, for Improved Classifier Selection, Audit and Explanation," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 45, no. 1, pp. 329-341, 1 Jan. 2023, doi: 10.1109/TPAMI.2022.3145392.
21. Townsend N., Nichols M., Scarborough P., Rayner M. Cardiovascular disease in Europe—Epidemiological update 2015. *Eur. Heart J*. 2015;36:2696–2705. doi: 10.1093/eurheartj/ehv428.
22. Powell-Wiley, Tiffany M., et al. "Obesity and cardiovascular disease: a scientific statement from the American Heart Association." *Circulation* 143.21 (2021): e984-e1010.
23. Szyller, Jakub, and Iwona Bil-Lula. "Heat shock proteins in oxidative stress and ischemia/reperfusion injury and benefits from physical exercises: a review to the current knowledge." *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 2021 (2021): 1-12.
24. Raffle, Angela E., and JA Muir Gray. Screening: evidence and practice. Oxford University Press, USA, 2019.
25. Martseniuk V.P., Kravets N.O., Sverstiuk A.S. Informatsiina systema medyko-biolohichnykh doslidzhen: proekt na osnovi Web-tekhnohii. *Ukrainskyi zhurnal teledytsyny ta medychnoi telematyky*. 2003. 1(1). S. 57-60.

CONTENTS

AUTOMATION AND MANAGEMENT	
Anokhin I., Ramazanov D. Matrix metal collimators studies for the spatially fractionated radiation therapy	5
Akimov D. Application of internet of things technologies to optimize logistics in agriculture	9
Likhva N., Stadnikov V., Kolosyuk A., Konstantinova O. Research of the possibilities of geo-information systems for the automated creation and update of digital topographic plans	16
Miskevych O., Omelchuk D. Manual and automated blockchain testing with Postman	23
Pekh P., Melnyk K., Shepelyuk D., Shepelyuk L. Study of license plate recognition technology using mobile applications.	31
INFORMATICS AND COMPUTER SCIENCE	
Bortnyk K., Yaroshchuk B., Bahniuk N., Pekh P. Overcoming challenges in artificial intelligence training: data limitations, computational costs and model robustness	37
Dymova H. Application of Fast Fourier Transform to the Speech Signals Scrambling	44
Pekh P., Khrystynets N., Gubysh R., Shulgach V. Simulation of two-stage temperature regulation system	50
Radchenko K., Li Bai, Potapova E. Research of Cryptographic Information Protection Technology in Health and Medical Care Field of China	58
Struk I., Yurchak I. Software implementation of image steganography based on LSB algorithm with Caesar's cipher	63
Chernyashchuk N., Koval I., Gaiduchyk M., Kushko I., Kachko V. Intellectual analysis of large data stores	72
Yurchak I., Hryhlevych M. Recommender system based on collaborative filtering	78
Bahniuk N., Linchuk O., Shypulin O. Analysis of NGINX Traffic Logs Using Machine Learning	86
Bagniuik N., Melnyk V., Bulatetskyi V., Sychov D., Karpovych V. Algorithmic software for analyzing the state and operation of a distributed heterogeneous network.	92
Hryniuk S., Polishchuk M., Hryniuk M., Shulgat V., Tereshkovych V. Intelligent lighting control system based on Arduino Uno	98
Hromko O., Boyarinova Y. Methods of applying artificial intelligence for multi-level optimisation of electrical circuit topologies	104
Domaratskyi I., Bagniuik N., Bortnyk K., Tyschuk I. Cross-Platform Mobile Application development tools	111
Kardashuk V., Bortnyk K., Bahniuk N. Problems of protecting information in virtual private networks and defending attacks on Web-applications	117
Kostenko O., Kuzenkov O. Solving the facility location problem by genetic algorithms	125
Kurylko M., Marchenko O. Encoder architecture for optimization of raster images compression to the JPEG format	132
Manzhula K. Probabilistic analysis of student's competencies based on the competence approach	139
Miskevych O., Stolenko I., Kulikov N. The testNG framework as a tool for writing tests	152

Osovskaya I., Metelyuk S., Polishchuk M., Konkevych L. Microcontroller System for Measuring Human Heart Rate	158
Pasternak R. The Hubble parameter in the four-dimensional corpuscular model of the universe	166
Petrashenko A., Liu Yang. Lift Engineering Equipment Event Log Data Analysis	173
Pekh P., Bortnyk K., Shepelyuk D., Shepelyuk L. Rationale for choosing a language model for the development of a mobile application's voice assistant	178
Pikuliak M., Dombrovskiy S., Dutchak M. Improving the asynchronous method of service interaction in web applications	185
Pistun Ye., Krykh H., Matiko H. Ways for changing shear rates in hydrodynamic devices for measuring rheological parameters of non-Newtonian fluids	192
Pitukh I.R. Development of the theory of emergent analysis of complex topologies of high-voltage networks based on the method of taking into account probabilistic failure characteristics	200
Polishchuk M., Tsyben D., Karpluk Y. Information processing using machine learning using Python	205
Poplavskaya G., Lekhitsky T., Korinchuk N. Modern methods of teaching educational components of the informatics-mathematics cycle using information technologies.	210
Starchenko V. Images fractal compression algorithms	215
Tkachov V., Diakov, Y., Bitchenko, O. Analysis of role change dynamics of the student, teacher and computer in the modern educational process	222
Khrystynets N., Melnyk K., Fenyuk A., Kopchuk V. Analytics of web resources as ways of rating information systems	228
Chernyashchuk N., Bortnyk K., Franchuk D., Osovskaya I., Metelyuk S., Kozelko O. Methods of evaluating the quality of human-machine interaction	233
Chernyashchuk N., Bortnyk K.Y., Tyschuk M., Hnitetyskyi V., Kucher V. Methods of classification of quality attributes of computer systems.	239
Chernyashchuk N., Matviychuk A., Ostapuk D., Shelepina O., Bondarchuk V. Methods of building network switches with support for GEON and LTE technologies	246
Chernyashchuk N., Lutsyuk A., Semenenko A., Mishchenko T., Nikolaeva V. Topological optimization of computer networks of robotic systems.	251
Chernyashchuk N., Semenyuk V., Shabovskiy M., Tokar O., Overchuk N. Parallelization of convolutional neural networks based on graphics processors.	257
TELECOMMUNICATIONS AND RADIO ENGINEERING	
Bieliakov R. The problem of integrating the FANET class air network into a special purpose mobile communication network	263
Levitska T., Parakhin R. A system for measuring the effort, movement and vibration response of the paddle with Bluetooth® communication	277
Radzivilov H., Ilyinov M., Khomenko P. Study of the functional possibilities of the three-element wave channel antenna	284
Rozlomii I., Kosenyuk H., Naumenko S., Mikhailovsky P. Modeling a microcontroller-based sensor system in the game simulation «Smart-Home» using data encryption	292
Roman V., Prokopiv V. Algorithm for constructing a three-dimensional model of an ultrasonic flowmeter for its CFD analysis	300
Roschenko O. Study of design features of radio engineering systems with radio channels	309
Kapatsila R., Sverstiuk A. Application of decision trees for prediction of heart disease	317

ВИМОГИ ДО СТРУКТУРИ ТА ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ СТАТЕЙ

➤ Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:

- 1) **постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
 - 2) **аналіз останніх досліджень і публікацій**, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор,
 - 3) **виділення невирішених раніше частин загальної проблеми**, котрим присвячується означена стаття;
 - 4) **формулювання мети дослідження** (постановка завдання);
 - 5) **виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; **висновки** з даного дослідження, у тому числі з науковою новизною;
 - 6) **перспективи подальших досліджень** у даному напрямку.
- Статтю можна подавати українською або англійською мовами. Вона повинна бути набрана у текстовому редакторі MS WORD. **Нумерацію сторінок** не виконувати. **Обсяг статті** 5 повних сторінок і більше (рекомендовано 5-12 ст.).
- **Параметри сторінки.** Верхнє, нижнє поле – 1,5 см, ліве – 2,5 см, праве – 2 см. Від краю до верхнього колонтитула – 1,25 см, нижнього – 1,25 см. Сторінки – дзеркальні поля.
- **Шанка статті.** УДК, ORCID (у форматі <http://orcid...>), автори (ім'я та прізвище повністю), місце роботи кожного автора. Назва організації та назва статті набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Сут розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюються по лівому краю. Назва статті розміщується через один рядок нижче назви організації (розмір шрифту 11 пт з напівжирним виділенням та вирівнюванням по центру).
- **Анотації** (українською та англійською мовами) повинні містити прізвища та ініціали авторів, назву статті та короткий її зміст і розміщуються через один рядок нижче назви статті та набираються з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Сут розміром 9 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині, 200 слів. Нижче анотацій обов'язково вказуються **ключові слова**.
- **Основний текст** розміщується на через один рядок нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1,25 см шрифтом Time New Roman розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом та вирівнюється по ширині.
- **Формули** набираються у редакторі формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Сут; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
- **Ілюстрації**, що присутні у статті, необхідно розташовувати у тексті без абзацних відступів по центру, вирівнюючи підписи по центру (Рис. 1. Назва). Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.
- **Таблиці** потрібно розташовувати у тексті по центру, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею ставиться її порядковий номер і назва (Таблиця 1. Назва) та вирівнюється по центру.
- **Посилання** на ту чи іншу роботу повинні позначатися в тексті у квадратних дужках за порядковим номером у списку літератури в кінці статті; посилання на джерела статистичних даних обов'язкові; посилання на публікації дослідників обов'язкові; посилання на підручники, навчальні посібники, газети і ненаукові журнали – небажані; посилання на власні публікації допускаються тільки у випадку крайньої необхідності; роботи авторів, на прізвища яких є посилання в тексті, мають бути в списку літератури до цієї статті.
- **Список бібліографічного опису та References.** Список літератури («References») потрібно приводити повністю окремим блоком, повторюючи список літератури, який подається українською мовою, незалежно від того, є в ньому іноземні джерела чи ні. Тобто, після статті подається 2 списки: «Список бібліографічного опису» (звичайний список літератури) і «References» (список для міжнародних БД). Необхідно в опис джерела вносити всіх авторів, не скорочуючи їх до трьох, як це рекомендовано діючими у нас державними стандартами. References - повинен бути укладений англійською мовою або транслітерований. Оформлювати згідно з одним із найбільш уживаних у світі стандартів: APA – American Psychological Association; CBE – Council of Biology Editors, Citation Sequence; Chicago (Author-Date System); Harvard; Harvard – British Standard; MLA (Modern Language Association) – Single Spaced Reference List; NLM – National Library of Medicine; Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical Journals. У жодному з перелічених стандартів не використовуються розділові знаки: «//», «–». Назва джерела та вихідні дані відокремлюються від авторів і заголовка статті типом шрифту, найчастіше, курсивом (italics), крапкою або комою. Існує багато безкоштовних програм для створення бібліографічних описів у романській абетці, що дають можливість автоматично створювати посилання за одним із світових стандартів наприклад: <http://www.easybib.com/>, <http://www.bibme.org/>, <http://www.sourceaid.com/>, <https://vak.in.ua/>.
- Вкінці статті вказується напрямок публікації відповідно до спеціальностей наукового журналу.
- Стаття обов'язково переслається електронною поштою за адресою: cit@lntu.edu.ua.
- Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.
- **Усі рукописи проходять перевірку на плагіат!**

ЗРАЗОК

УДК 621.391

Мороз Борис Іванович, д.т.н., професор,
<https://orcid.org/0000-0002-5625-0864>

Антіпов Олександр Андрійович, аспірант,
Журавльов Володимир Сергійович, аспірант.
<https://orcid.org/0000-0002-7366-9552>

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДОСТАВКИ МЕДИКАМЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ (МУЛЬТИКОПТЕРІВ) ЗА ЗАПИТОМ СПОЖИВАЧА

Times New Roman 9

Мороз Б. І., Антіпов О.А., Журавльов В. С. Автоматизована система доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів (мультикоптерів) за запитом споживача. Представлено концепт системи доставки медикаментів за допомогою безпілотних літальних апаратів. Запропоновано архітектуру системи автоматичної диспетчеризації замовлень від споживача, зберігання замовлень, та планування доставки дронами. Також було розглянуто юридичні обмеження роботи запропонованої системи.

Ключові слова: мультикоптер, дрон, доставка, клієнт-серверна архітектура, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Moroz B., Antipov A., Zhuravlev V. Automated system for the delivery of medical supplies using unmanned aerial vehicles (multicopter) at the request of the consumer. The concept of medical supplies delivery system using unmanned aerial vehicles is presented. The architecture of the system of automatic dispatching orders from the consumer, storage of orders, and scheduling delivery by drones are proposed. The legal limitations of the proposed system were also considered.

Keywords: multicopter, drone, delivery, client-server architecture, RSA, APM, HTTPS, Mission Planner.

Постановка наукової проблеми.

Times New Roman 11

Аналіз досліджень.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Times New Roman 9

Список бібліографічного опису

1. Сін Лю, Цінъян Сяо, Віджай Гопалакришнан, Маттео Варвелло (2017) Дослідження 360 ° Інновації для панорамного відеопотоку, С. 50-55. ACM.
2. Б. Хань, Ф., Цянь, Л. Джі та В. Гопалакришнан. (2017) MP-DASH: Адаптивна відео-трансляція через перевагу, орієнтовану на багатофункціональність. У матеріалах 12-ї Міжнародної конференції з нових мережевих експериментів та технологій, С. 129–143. ACM.

References

1. Xing Liu, Qingyang Xiao, Vijay Gopalakrishnan, Matteo Varvello (2017) Research 360° Innovations for Panoramic Video Streaming, P. 50-55. ACM.
2. Han, B., Qian, F., Ji, L. & Gopalakrishnan, V. (2017) MP-DASH: Adaptive Video Streaming Over Preference-Aware Multipath. In Proceedings of the 12th International on Conference on emerging Networking Experiments and Technologies, P. 129-143. ACM.

Довідки з питань публікації та прийому матеріалів у науковий журнал «Комп'ютерноінтегровані технології: освіта, наука, виробництво» можна отримати у відповідального секретаря – к.т.н. Христинець Наталії Анатоліївни за тел. (0332) 74-61-15.

Адреса: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, ауд. 141

Автор статті отримує електронний примірник збірника. Вартість однієї сторінки становить **40 – грн. (для працівників Луцького НТУ), 50 грн – для інших ЗВО.**

Окремо, кожній статті, буде присвоєний **DOI (digital object identifier)** - ідентифікатор цифрового об'єкту, що веде за собою додаткову оплату **60 грн.**

Кошти можна перерахувати лише після редакції та перевірки на плагіат на рахунок:

Луцький національний технічний університет
43018 м.Луцьк, вул.Львівська, 75
р/р **UA86 820172 0 3132 4 1 002 2 02 017820**

Призначення платежу: «За публікацію у збірнику «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» від _____ (ПІБ автора)»

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет

Колектив авторів

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО

Науковий журнал

Підп. до друку 22.11.2023. Формат А4. Папір офс.
Гарн. Таймс. Ум. друк. арк. 15.25 Обл. – вид. арк. 15.75
Тираж 20 прим. Зам. № 14/22

Комп'ютерний набір та верстка:

Н.А. Христинець

Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК №4123 від 28.07.2011 р.
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75, тел.: (0332) 74-61-02