

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Одеська політехніка»

ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ
МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ

INFORMATICS AND MATHEMATICAL
METHODS IN SIMULATION

Том 11, № 4

Volume 11, No. 4

Одеса – 2021
Odesa – 2021

Журнал внесений до переліку наукових фахових видань України (технічні науки) згідно наказу Міністерства освіти і науки України № 463 від 25.04.2013 р. Перереєстровано на категорію «Б» за фахами 121, 122, 125, 151 згідно наказу МОН України № 1473 від 26.11.2020 р.

Виходить 4 рази на рік

Published 4 times a year

Заснований Одеським національним політехнічним університетом у 2011 році

Founded by Odessa National Polytechnic University in 2011

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 17610 - 6460Р від 04.04.2011р.

Certificate of State Registration КВ № 17610 - 6460P of 04.04.2011

Головний редактор: *А.А. Кобозева*

Editor-in-chief: *A. Kobozeva*

Заступник головного редактора:

Associate editor:

С.А. Положаєнко

S. Polozhaenko

Відповідальний редактор:

Executive editor:

О.А. Стопакевич

O. Stopakevych

Редакційна колегія:

Editorial Board:

І.І. Бобок, Д. Джухар, А.А. Кобозева,

I. Bobok, J. Juhar, A. Kobozeva,

В.Ф. Ложечніков, В.В. Любченко,

V. Lozhechnikov, V. Liubchenko, V. Pavlenko,

В.Д. Павленко, В.В. Палагін,

V. Palahin, S. Polozhaenko, O. Rybalsky,

С.А. Положаєнко, О.В. Рибальський,

A. Sokolov, B. Speransky, O. Stopakevych,

А.В. Соколов, В.О. Сперанський,

O. Fomin

О.А. Стопакевич, О.О. Фомін

Друкується за рішенням редакційної колегії та Вченої ради Національного університету «Одеська політехніка»

Оригінал-макет виготовлено редакцією журналу

Адреса редакції: просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

Телефон: +38 048 705 8506

Web: www.immm.op.edu.ua (immm.opu.ua)

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

Editorial address: 1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine

Tel.: +38 048 705 8506

Web: www.immm.op.edu.ua (immm.opu.ua)

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

© Національного університет «Одеська політехніка», 2021

ЗМІСТ/CONTENTS

- РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ
А.О. Азаренков, В.В. Вичужанін
- 253 DEVELOPMENT OF AN INFORMATION CONTROL SYSTEM FOR AUTOMATIZATION OF THE ACTIVITIES OF RETAIL TRADE ENTERPRISES
Azarenkov A., Vychuzhanin V.
- ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ СКЛАДАННЯ ЯК ПОГЛИНАЮЧОГО МАРКОВСЬКОГО ЛАНЦЮГА
О. М. Тининика
- 262 DYNAMIC MODEL OF A PRODUCTION ASSEMBLY LINE AS AN ABSORBING MARKOV CHAIN
Tynynyka A.
- ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ЗАСОБАМИ СТАНДАРТУ OpenMP ДЛЯ РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМ
О.О. Жульковський, І.І. Жульковська, В.В. Шевченко
- 268 EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE IMPLEMENTATION OF COMPUTATIONAL ALGORITHMS USING THE OpenMP STANDARD FOR PARALLELIZING PROGRAMS
Zhulkovskyi O., Zhulkovska I., Shevchenko V.
- ОГЛЯД АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАВАДОСТІЙКОГО КОДУВАННЯ У СИСТЕМАХ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ
С.В. Зайцев, В.М. Василенко, С.М. Семендяй
- 278 OVERVIEW OF ADAPTIVE METHODS FOR ENSURING THE RELIABILITY OF THE TRANSMISSION OF INFORMATION WHEN USING INSTALLATION-FREE CODING IN WIRELESS SYSTEMS
Zaitsev S., Vasilenko V., Semendiai S.
- ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОСОБИ У ВІДЕОПОТОЦІ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ
І.С. Кунак, І.М. Шпінарева, В.Г. Пенко
- 287 PERSON IDENTIFICATION IN A VIDEO STREAM BY MACHINE LEARNING METHODS
Kunak I., Shpinareva I., Pienko V.
- ОСНОВНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЙ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ COVID-19 ТА КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬ
Д.Б. Мехед, К.М. Мехед
- 296 BASIC PRINCIPLES OF PROVIDING CYBERSECURITY OF ORGANIZATIONS IN THE COVID-19 PANDEMIC CONDITIONS AND QUARANTINE RESTRAINTS
Mekhed D., Mekhed K.

- МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ ІМПУЛЬСНИХ ШУМІВ НА ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯХ
Д.В. Палагін, О.А. Палагіна, В.В. Палагін,
О.С. Зорін, О.О. Гожий 303 METHOD OF PULSE NOISES FILTRATION ON VIDEO IMAGES
Palahin D., Palahina V., Palahin V.,
Zorin O., Hozhyi O.
- РОЗРОБКА ВЕБ-СЕРВІСУ ДИНАМІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ПРОГНОЗУ БЮДЖЕТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ІСТОРІЇ КОРИСТУВАЧА
К.О. Писаренко, Т.В. Оніщенко,
О.С. Пригожев 316 DEVELOPMENT OF WEB SERVICE FOR DYNAMIC GENERATING A FORECAST OF BUDGET DEPENDING ON THE USER'S STORY
Pysarenko K., Onishenko T., Prygozhev O.
- ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ: МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ЗАПРОПОНОВАНІ РІШЕННЯ
В.М. Рувінська, В.В. Девятков 331 VIDEO SURVEILLANCE FOR SECURITY SYSTEMS: MODELS, METHODS AND PROPOSED SOLUTIONS
Ruvinskaya V., Devyatkov V.
- АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНИМИ КОЛОНАМИ
А.О. Стопакевич, О.А. Стопакевич 343 ANALYTICAL REVIEW OF DISTILLATION COLUMNS DECENTRALIZED CONTROL SYSTEMS DESIGN METHODS
Stopakevych A., Stopakevych O.
- ЗАХИСТ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ ВІД ЛЮДСЬКОГО ВПЛИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ
Ю.М. Ткач, О.О. Яковлев, Т.А. Лисиця 358 PROTECTION OF CORPORATE NETWORKS FROM HUMAN INFLUENCE USING TECHNICAL MEANS
Tkach Y., Yakovlev O., Lisitsa T.
- ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА РІШЕННЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ПЕРЕХОДУ КОМПАНІЙ В ОНЛАЙН СФЕРУ
Т.В. Філатова, О.А. Журан, І.Ю. Івченко 365 DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS AND DESIGN SOLUTIONS FOR INFORMATIZATION OF THE TRANSITION OF COMPANIES IN THE ONLINE SPHERE
Filatova T., Zhuran O., Ivchenko I.
- МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ КІБЕРЗАХИЩЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД КІЛЬКОСТІ КОРИСТУВАЧІВ
В.О. Хорошко, В.А. Кудінов 374 MATHEMATICAL MODELING OF THE OPERATION OF CYBER-PROTECTED INFORMATION SYSTEMS DEPENDING ON THE NUMBER OF USERS
Horoshko V., Kudinov V.

**DEVELOPMENT OF AN INFORMATION CONTROL SYSTEM FOR
AUTOMATIZATION OF THE ACTIVITIES OF RETAIL TRADE ENTERPRISES****A.O. Azarenkov, V.V. Vychuzhanin**National Odessa Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, 65044; Ukraine;
archiblابلapicher@gmail.com; v.v.vychuzhanin@op.edu.ua

Information control systems are widely used to automate the activities of retail enterprises. This is a mandatory component of successful business processes in trade organizations, which also contributes to improving the quality of services for customers. Currently, information control systems are widely used for retailers in e-commerce. This makes it possible to ensure: timely delivery of goods to enterprises and consumers; eliminate intermediaries; improve storage conditions for goods; shorten supply chains; ensure 24-hour staffs work. All this contributes to improving the efficiency of retail enterprises. However, often the implementation of information control systems for such purposes is a financially costly and time-consuming process. The introduction of such systems leads to a significant reduction in employees of trade organizations. In addition, the purchase of products and everyday goods is less realized online, and therefore the coordinated work of cash registers at retail enterprises remains an urgent task. In order to preserve the traditional processes of functioning of retail enterprises with the preservation of the number of employees, the article proposes to increase the efficiency of their work by introducing special interfaces for managing the coordinated work of cash registers with informing employees and customers. The purpose of the article is to develop an information control system for automating the activities of retail enterprises, ensuring the smooth operation of cash registers. To achieve this goal, the following tasks related to the development were solved: the structure of an information control system for automating the activities of retail enterprises; software; hardware implementation of an information control system that ensures the smooth operation of cash registers.

Keywords: information control system, software, management interfaces, automation, retail, cash registers, customer satisfaction, efficiency

Introduction

The increasing competition between manufacturers, free pricing, coupled with the growing level of self-regulation of retail enterprises, force each individual enterprise to focus its efforts, first of all, on achieving economic goals - improving work efficiency, maximizing profits and reducing costs [1-4]. One of the most important components in this process is the management of information flows associated with the functioning of such enterprises. Information control systems (ICS) are widely used to automate the activities of retail enterprises. This is a mandatory component of successful business processes in trade organizations, which also contributes to improving the quality of services for customers [5-9].

According to the research "TECHNOLOGY AT WORK v3.0. Automating e-Commerce from Click to Pick to Door" [10] from Citi GPS: Global Perspectives & Solutions, the ICS of automatic cash registers, as well as robot assistants that ensure the smooth operation of cash registers, is a promising and cost-effective direction for retailers. This approach helps to increase the demand for goods, save on the maintenance of employees, improve the quality of goods and trust in them from customers. However, according to Morning Future [11], the introduction of automatic maintenance and robot assistants still remains a financially costly and time-consuming process and is accompanied by a significant reduction in employees of trade organizations. An example of a different use of ICS for retailers is the analysis of the

BNN Bloomberg food consumption report [12], indicating the successful use of e-commerce (online shopping). This also confirms the use of the OWR wise robotics service platform [13] in ICS for contactless commerce, which allows for: timely delivery of goods to enterprises and consumers; eliminate intermediaries; improve storage conditions for goods; shorten supply chains; ensure 24-hour staffs work. However, the purchase of products and everyday goods is less realized online, and therefore the coordinated work of cash registers at retail enterprises remains an urgent task.

The purpose of the article is to develop an ICS for automating the activities of retail enterprises, which ensures the smooth operation of cash registers.

To achieve this goal, it is necessary to solve the following tasks related to the development: the structure of the ICS for automating the activities of retail enterprises; software; hardware implementation of the ICS, which ensures the smooth operation of cash registers.

Information control system for automating the activities of retail enterprises

The basis of the developed ICS for automating the activities of retail enterprises is based on the created SRS (smart retail system) system with the developed software that ensures the smooth operation of cash registers (Fig. 1). The lower level of the system is designed for processing statuses and calls from the cash desks.

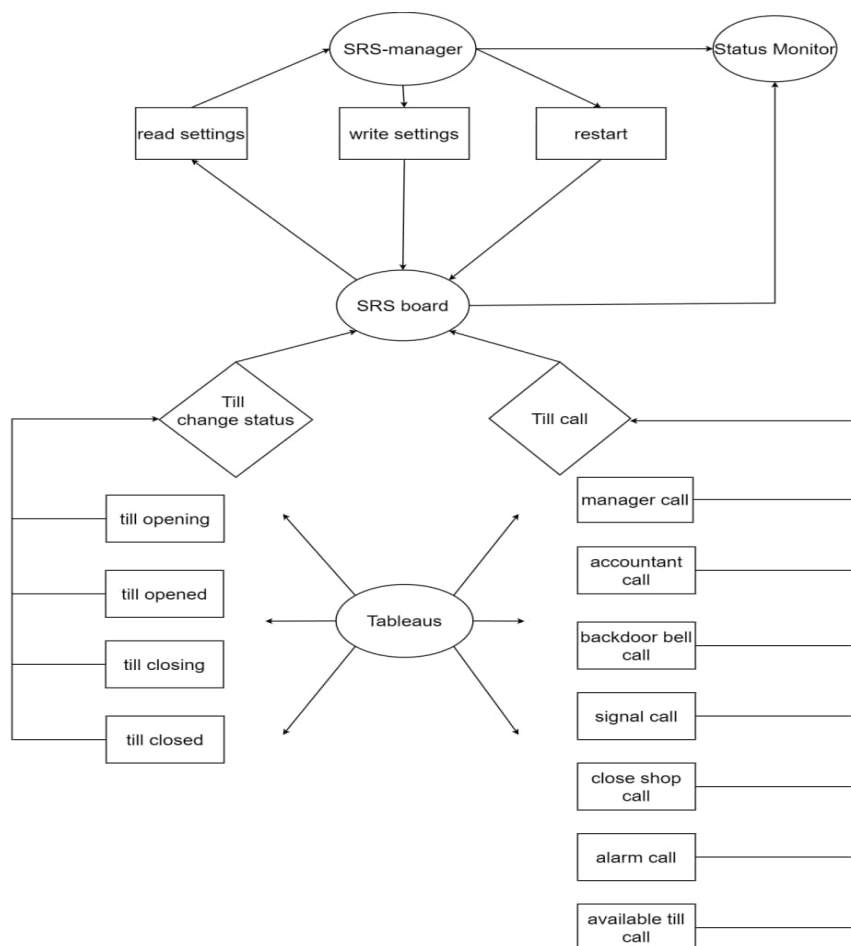
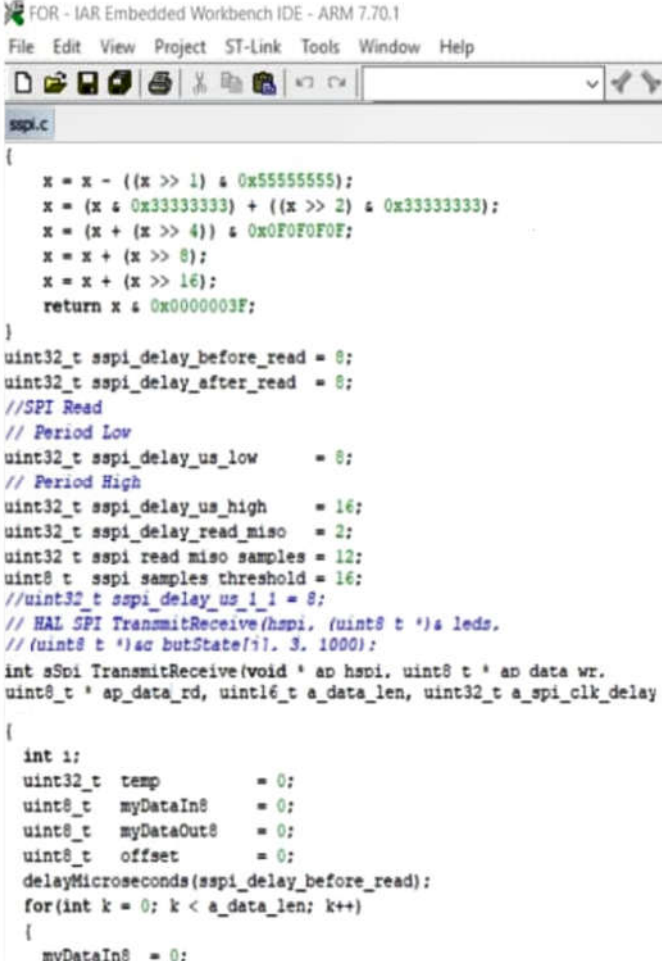


Fig. 1. Diagram of the SRS system functioning

The ICS operates in a continuous event processing mode. For example, if a request to open a cash register comes from the tabby (remote controls), the system generates audio that notifies the staff about the opening of the cash register, which is also accompanied by a glow on the scoreboard, the corresponding LED in green. During the operation of the system, it is

also provided to unlock such functions as: calling the manager; replacing cashiers; notification of the imminent closure of a trade organization; notification of employees leaving for a break; turning on an alarm, etc. The system also processes information from expansion boards, namely about a long queue of buyers from motion sensors, signals from the security service, signals from virtual cash registers and others. The ICS has embedded microprocessors, the program code for which is written in the C programming language in the IAR Embedded Workbench IDE development environment [14]. Each functional department is located in a separate file or folder (Fig. 2).



```

FOR - IAR Embedded Workbench IDE - ARM 7.70.1
File Edit View Project ST-Link Tools Window Help
sspi.c
{
    x = x - ((x >> 1) & 0x55555555);
    x = (x & 0x33333333) + ((x >> 2) & 0x33333333);
    x = (x + (x >> 4)) & 0xF0F0F0F;
    x = x + (x >> 8);
    x = x + (x >> 16);
    return x & 0x0000003F;
}
uint32_t sspi_delay_before_read = 8;
uint32_t sspi_delay_after_read = 8;
//SPI Read
// Period Low
uint32_t sspi_delay_us_low = 8;
// Period High
uint32_t sspi_delay_us_high = 16;
uint32_t sspi_delay_read_miso = 2;
uint32_t sspi_read_miso_samples = 12;
uint8_t sspi_samples_threshold = 16;
//uint32_t sspi_delay_us_l1 = 8;
// HAL SPI TransmitReceive(hspi, (uint8_t *)& leds,
// (uint8_t *)& butState[i], 3, 1000);
int sSpi TransmitReceive(void * ap hspi, uint8_t * ap data wr,
uint8_t * ap_data_rd, uint16_t a_data_len, uint32_t a_spi_clk_delay
{
    int i;
    uint32_t temp = 0;
    uint8_t myDataIn8 = 0;
    uint8_t myDataOut8 = 0;
    uint8_t offset = 0;
    delayMicroseconds(sspi_delay_before_read);
    for(int k = 0; k < a_data_len; k++)
    {
        myDataIn8 = 0;
    }
}

```

Fig. 2. Program code window

The main configuration files are located in the JSON folder. ICS users have the opportunity to customize the behavior of the system to their needs using the SRS-manager program. The program is written in the C# programming language in the Visual Studio development environment [15] and is designed to work on Windows OS. In the program, you can set the settings for each SRS function. The program is a window with control buttons for templates, firmware, information about the connected ICS board and tabs for specifying settings for the system. For example, the SRS manager window - General Settings (Fig. 3) - configures the main settings, such as: opening settings, closing settings, checkout settings (tills), Express mode settings.

Hardware implementation of an information management system for automating the activities of retail enterprises

Hardware SRS system is the main board SRS board. The structure of the hardware of the board corresponds to the graph model (Fig. 4) [16].

The SRS board (Fig. 5) records, processes status changes and generates cash register calls. This data is displayed in the Status monitor, as well as in various colors of LEDs on the remote control, playing audio files, etc.

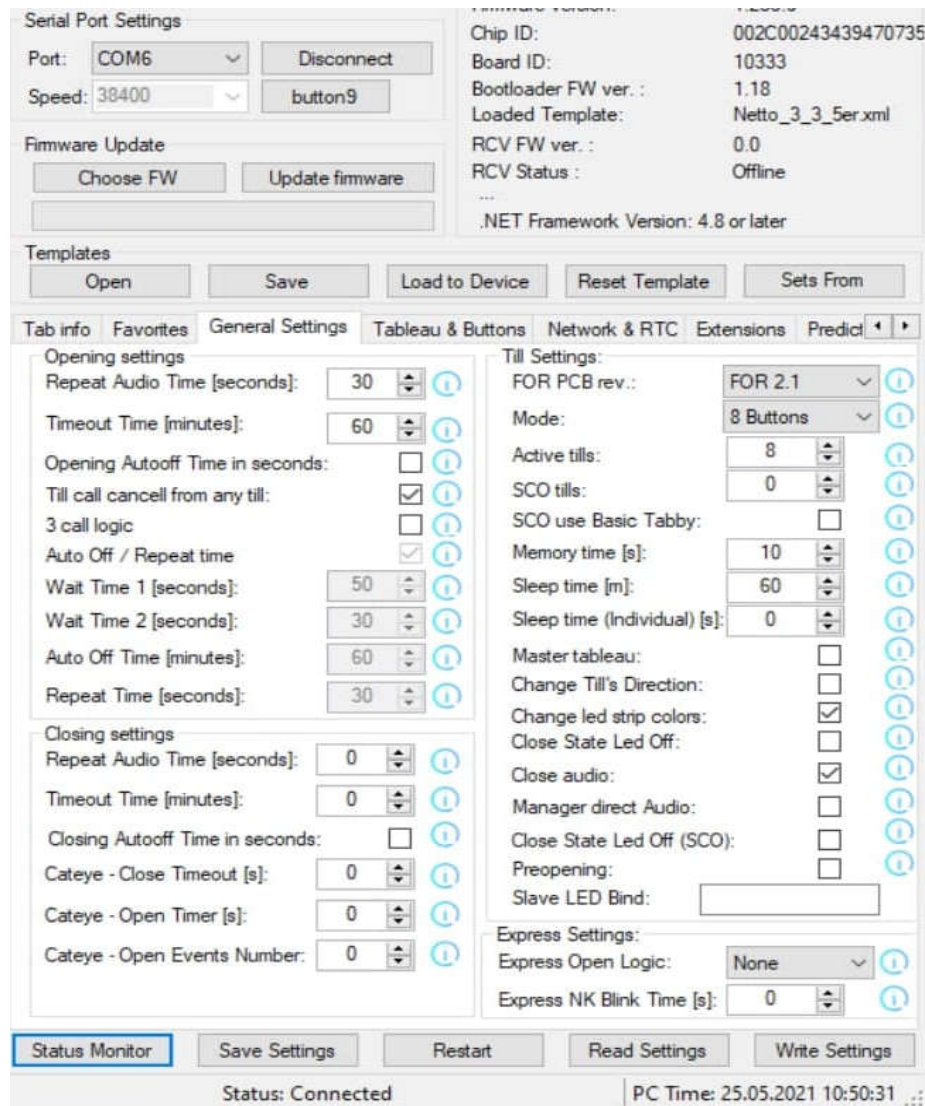


Fig. 3. SRS Manager window. General Settings

There are ports on it: 8 till ports for cash desks (tabby) - they are used by employees of cash registers; CAN port for connecting additional boards, such as an expansion board, for example, for 16 cash registers; a board for working with queue sensors, a board for working with staff walkie-talkies, etc.; RS 232 port for debugging functions; Ethernet port for connecting the board to an Ethernet network; two audio ports for outputting audio files; USB port for connecting to a computer (or to a Raspberry Pi board); port for SD-card - audio files are stored on it and some program procedures take place; eight ports for LED strips (LEDs) reflecting the status of cash registers for buyers; two I/O ports (input/output) for connecting a call at the back entrance (Backdoor Bell) or U I expansion boards / O; two OUTPUT ports for the output of additional signals; a port for the power supply of the board 24V DC. In addition to the AMD microprocessor, non-volatile memory, jumpers and other circuit elements are

placed on the board. A firmware bit file is programmatically sewn into the microprocessor, providing functions: storing user values; performing calculations and calculations; processing and generating events; communicating with additional devices, etc. The microprocessor is supplied with power through the lm2576hvs-adj stabilizer and deep switches. Deep switches are designed to reconfigure the operating modes of the board at a low (deep) software level. Non-volatile memory allows you to save the internal countdown of the operation of the board even in the off state, as well as save the system statuses for a while in case of power failures of the board.

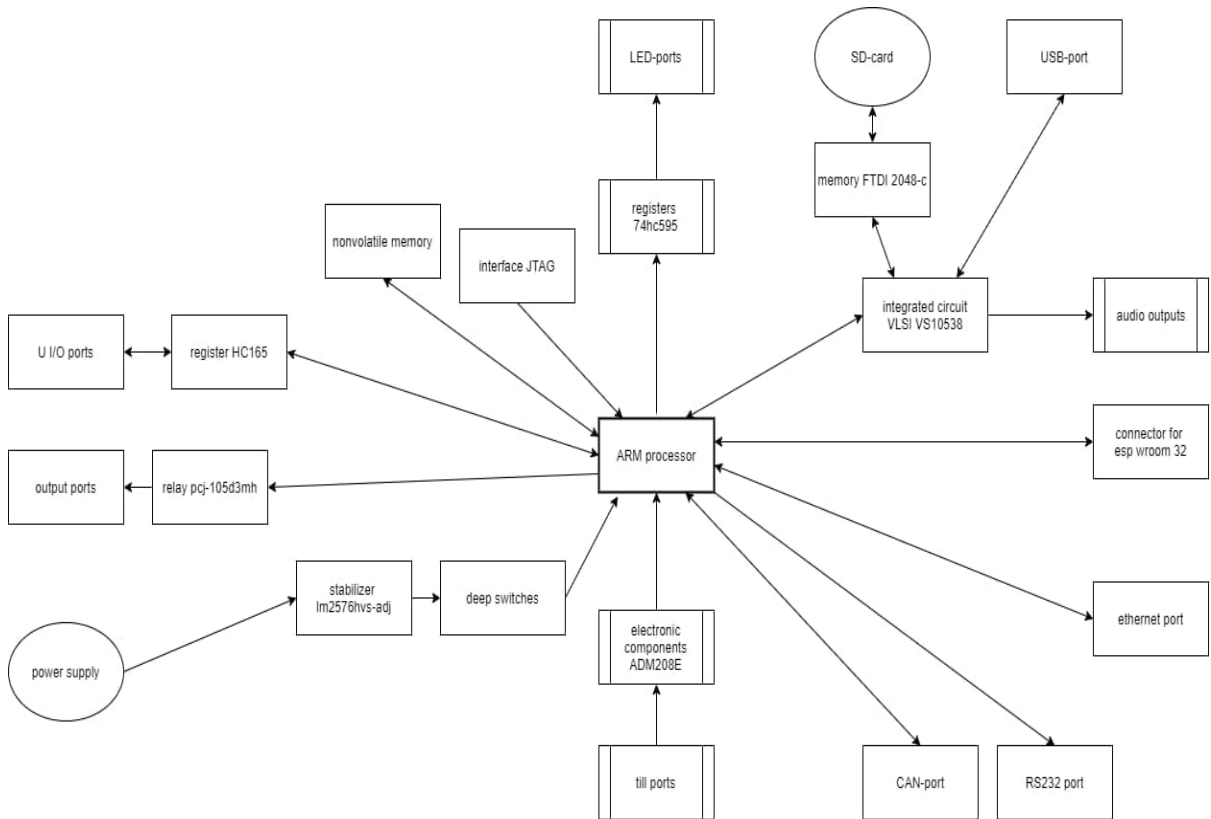


Fig. 4. SRS-board hardware model

The board settings are configured using the SRS-manager program. The SRS board is usually placed in the server room.

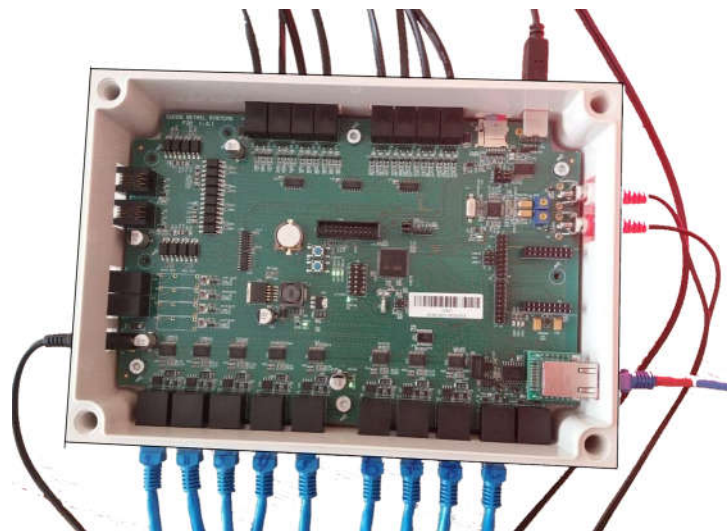


Fig. 5. Photo of the SRS board

The JTAG interface is used when updating the processor firmware with the STM32 ST-LINK programmer [17]. From the upper side of the board model (Fig. 4), LED strips are connected to the LED ports, signaling customers and staff about the status of cash registers and queues. The ports are connected to the microprocessor via registers 74hc595. The SD card stores the audio files of the system, the current settings file, and also performs some processes (for example, online downloading of settings from the server). The SD card works in conjunction with FTDI 2048-c memory. Thus, a trade organization with the help of additional software can configure the settings and behavior of the system, monitor the status of the ICS through a remote computer device.

Audio from the events that have occurred is output to two audio ports. Audio files are distributed into two channels, due to which one part of the audio can be played for customers, and another part for staff. The SD card, USB port and audio ports are connected to the VLSI VS10538 chip, which preprocesses signals before they are fed to the microprocessor. Connectors for esp wroom 32 are a potential API functionality for connecting ESP boards. Using an Ethernet cable, the board can be connected to the Internet or a local network. Till ports are used to connect control panels at the cash desks. These ports are connected to the microprocessor via ADM208E preprocessor electronic components.

The results of the functioning of the information management system for the automation of the activities of retail enterprises

The functioning of the developed ICS for automating the activities of retail enterprises is illustrated in the Status Monitor. It displays class statuses, expansion board statuses, network statuses and online updates, and also performs testing of various software functions.

Figure 6 shows the operation of the built-in consoles in an experimental store in Dusseldorf (Germany). Figure 7 shows that the third, fifth, sixth, eighth and ninth cash registers are operating at a fixed moment. The store employee presses the OK button to close the third checkout. To the left are the buttons for calling a store employee (Markt Accountant) and a manager (Markt Leitunger).



Fig. 6. Using the built-in remotes

Figure 7 shows the following areas of the Monitor Status:

- Tableaux Status - statuses of the main cash registers;
- Slave Tableaux Status - additional cash register statuses;
- Monitor - Setting the data refresh rate Monitor status;
- Expansion IO Status - status of signals on UIO ports;
- Occupation Status - applicable Occupation settings;
- Network Status - Internet connection, online status - settings and firmware updates, IP address and DNS settings;
- Audio Library Update Status - status of online audio file updates;
- Hardware Tests - forced launch of the U-IO ports test, LED strips, online updates.

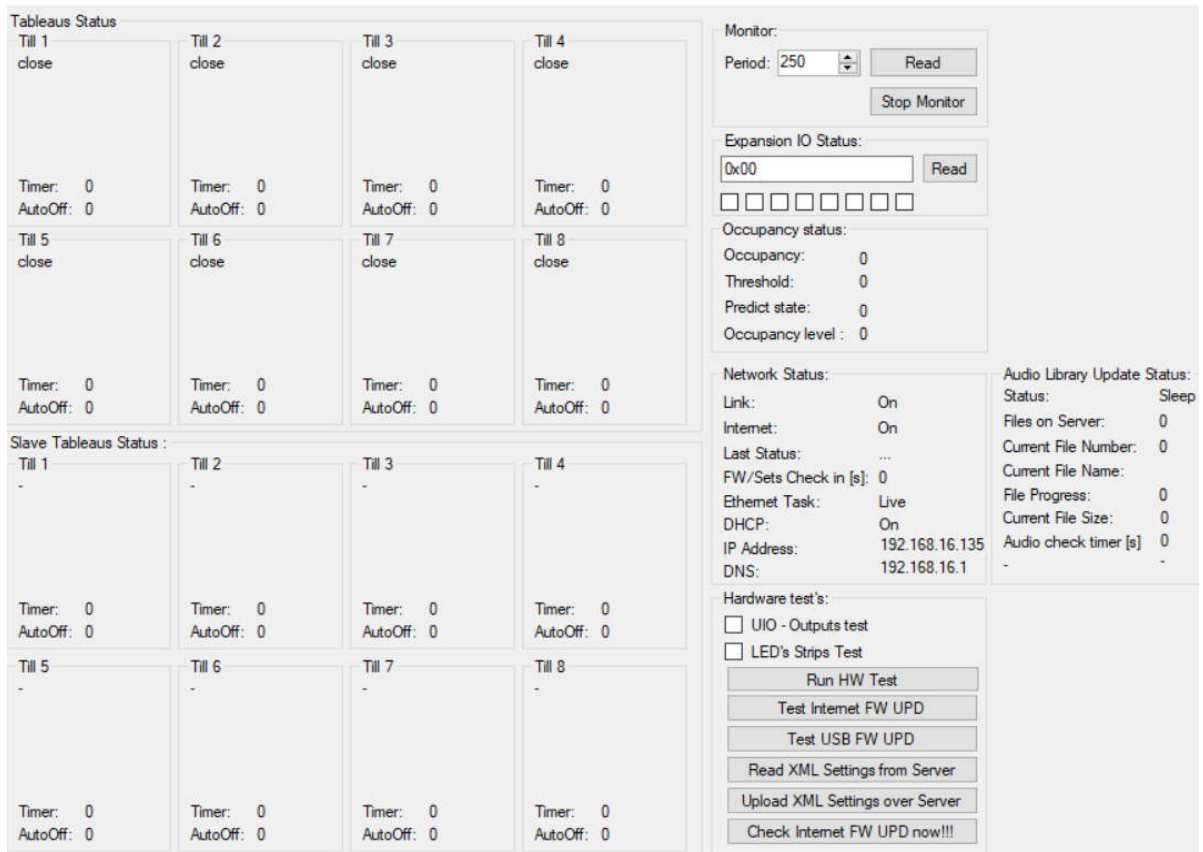


Fig. 7. Status Monitor

Conclusions

In order to increase the efficiency of work and automate the activities of the personnel of retail enterprises, an ICS has been developed that ensures the coordinated operation of cash registers.

To achieve this goal, we have developed: the structure of the information and control system for automating the activities of retail enterprises; software; hardware implementation of ICS, ensuring the smooth operation of cash registers.

References

1. Retail with Purpose: Powering Future Growth. 2018. URL: https://www.accenture.com/20180214T162703Z_w_/usen/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Dualpub_26/Accenture-Retail-with-Purpose.pdf
2. Ramanathan U., Subramanian N., Parrott G. Role of social media in retail network operations and marketing to enhance customer satisfaction. *International Journal of Operations & Production Management*. 2017. Vol.37. No.1. P. 105–123.
3. Roznichnaya trgovlya [Retail trade] URL: <https://www.grandars.ru/college/biznes/roznichnaya-torgovlya.html>
4. ISO/IEC 25000:2014. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/64764.html>
5. Shaw D. The Retail Industry and Information Technology. In: *Modelling for Added Value*. London: Springer, 1998. P. 139 – 154.
6. Derr R. Efficient Consumer response requires efficient information response. *European Retail Digest*. 1995. Spring. P. 4–5.
7. Kern A. The importance of ICT in the retail industry – Fundamental Opportunities and Challenges in a Globalized World. Linz: Johannes Kepler University, 2018. 135 p.
8. Worldwide Retail and Ecommerce Sales: eMarketer's Estimates for 2016–2021. URL: <https://www.emarketer.com/Report/Worldwide-Retail-Ecommerce-Sales-eMarketers-Estimates-20162021/2002090>
9. Navigating the New Digital Divide: A Global Summary of Findings from Nine Countries on Digital Influence in Retail. URL: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Consumer-Business/gx-cb-global-digital-divide.pdf>
10. Citi GPS: Global Perspectives & Solutions – Technology At Work v3.0 Automating e-Commerce from Click to Pick to Door. URL: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/CITI%20REPORT%20ADR0N.pdf>
11. Morning Future – How supermarkets will change (and are already changing) through automation. URL: <https://www.morningfuture.com/en/2018/04/16/supermarkets-automation-robot-future-work>
12. BNN Bloomberg – Grocery work shifting amid increasing automation, online sales, report finds. URL: <https://www.bnnbloomberg.ca/grocery-work-shifting-amid-increasing-automation-online-sales-report-finds-1.1608728>
13. OWR wise robotics – Six Advantages of Automated Supermarkets. URL: <https://wiserobotics.com/2020/06/11/six-advantages-of-automated-supermarkets> accessed
14. IAR systems – Knowledge, URL: <https://www.iar.com/knowledge/learn/> (accessed 28.10.2021).
15. Microsoft Docs – Visual Studio documentation. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/windows/?view=vs-2019>
16. Организация эффективного управления – Схема бизнес-процесса – краткий алгоритм создания. URL: <https://rzbpm.ru/knowledge/sozdanie-sxemy-biznes-processa-dlya-neterpelivyx.html>
17. STMicroelectronics – ST-LINK/V2 in-circuit debugger/programmer for STM8 and STM32. URL: <https://www.st.com/en/development-tools/st-link-v2.html>

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ РОЗДРІБНОЇ ТОРГІВЛІ

А.О. Азаренков, В.В. Вичужанін

Національний університет "Одеська політехніка", Shevchenko ave., 1,
Odessa, 65044; Ukraine; archiblablablapicher@gmail.com; v.v.vychuzhanin@op.edu.ua

Інформаційно-керуючі системи широко використовуються для автоматизації діяльності підприємств роздрібною торгівлі. Це обов'язкова складова успішних бізнес-процесів в торгових організаціях, що сприяє також і підвищенню якості послуг для клієнтів. В даний час широко використовуються інформаційно-керуючі системи для підприємств роздрібною торгівлі в е-комерції. Це дозволяє забезпечити: своєчасну доставку товарів на підприємства і споживачам; усунути посередників; поліпшити умови зберігання товарів; скоротити ланцюжки поставок; забезпечити 24-годинну роботу персоналу. Все це сприяє підвищенню ефективності роботи підприємств роздрібною торгівлі. Однак часто реалізація інформаційно-керуючих систем подібного призначення фінансово витратний і трудомісткий процес. Впровадження подібних систем призводить до істотного скорочення працівників торгових організацій. Крім того, покупка продуктів і повсякденних товарів в меншій мірі реалізується в онлайн, а тому злагоджена робота кас на підприємствах роздрібною торгівлі залишається актуальним завданням. У статті пропонується для збереження традиційних процесів функціонування підприємств роздрібною торгівлі зі збереженням кількості працівників підвищити ефективність їх роботи за допомогою введення спеціальних інтерфейсів управління злагодженою роботою кас з інформуванням співробітників, а також клієнтів. Мета статті-розробка інформаційно-керуючої системи для автоматизації діяльності підприємств роздрібною торгівлі, що забезпечує злагоджену роботу кас. Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання, пов'язані з розробками: структури інформаційно-керуючої системи для автоматизації діяльності підприємств роздрібною торгівлі; програмного забезпечення; апаратної реалізації інформаційно-керуючої системи, що забезпечує злагоджену роботу кас.

Ключові слова: інформаційно керуюча система, програмне забезпечення, інтерфейси управління, автоматизація, роздрібна торгівля, каси, задоволеність клієнтів, ефективність.

**DYNAMIC MODEL OF A PRODUCTION ASSEMBLY LINE
AS AN ABSORBING MARKOV CHAIN****A.N. Tynynyka**National Odessa Polytechnic University,
1 Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; e-mail: polalek562@gmail.com

Assembly lines are generally accepted means of mass and serial production, and even used for the manufacture of small-batch products for individual orders. They are flow-oriented production systems. When (re)setting up an assembly line, the important task of balancing it always arises. It originated with the beginning of the use of assembly lines and consists in the rational distribution across jobs of the total workload required for the manufacture of a unit of production. This expedient helps to increase the capacity of the assembly line with some reduction in the requirements for the qualification of the workforce. During the first forty years of the assembly lines, only trial and error methods were used for balancing. Next other balancing methods were developed for different structures and operating conditions of the lines. The article proposes a method for controlling and regulating the incomplete production of a production line, which consists in the periodic redistribution of workers in workplaces, that is, in the redistribution of the incomplete production (in the opposite direction). The purpose of regulation is the approximate alignment of the generation of workplaces and the increase in productivity of the entire line, assuming that the workers do not enter the production line from the outside. The specific problem of the assembly line stability is solved by the methods of the Markov chain theory. A model of the assembly line as an absorbing Markov chain has been constructed. The statement proved in the work formulates the conditions under which the shop management can even out the workstations of the production line with a given accuracy using the reserve labor force. The represent of the production line by the Markov chain allows one to find the only number of workers that must be redistributed between workplaces in order to achieve the goal, and the required number of redistributions per shift.

Keywords: production assembly line, modeling, Markov chain, regulation, stability.

Introduction

In the cybernetic direction of scientific development, the problems of the production organization and control were initially distinguished by three trends [1]: the use of the theory of autoregulation methods, the use of the theory of information systems with feedback methods, biophysical modeling. Later, to study specific aspects of the production systems, including the production lines (PL) of the assembly, other non-named models were proposed, for example, stochastic models based on network representations [2], which can describe the assembly lines functioning in time and when describing to remove unrealistic assumptions about the deterministic duration of technological transitions. During the first forty years of the assembly lines, only trial and error methods were used for balancing. Later, other balancing methods were developed for different structures and operating conditions of the lines. [3,4,5]. Heuristic methods aimed at minimizing costs were considered [6], criteria for physical demand [7] and even individual orders [8] were introduced. The proposed methods range from simple to fairly complex and time consuming, involving, for example, the use of genetic algorithms [9].

Throughout the extensive literature on this topic, assembly PL have not been considered as an absorbing Markov chain, even when methods of operations research were used to analyze production lines. Reviews of balancing methods [eg, 10-12] and analysis of the stability of the balance of submarines [13] do not contain a reference to such a model. Further it is shown how

to represent assembly lines by Markov chain. The representation is used to solve a problem related to the stability of assembly lines.

Content statement of the problem

PL assembly consists of linked workplaces (WP). At any moment taken as the initial one, each WP has a certain amount of work in progress, including zero. Due to a change in the efforts of workers and for other reasons, non-completed production moves from one WP to another. If the movement is not controlled, the uneven distribution of work in progress on the WP in separate periods of time can lead to a decrease in the productivity of the line.

Consider one way to control and regulate: in each period of time the master of the workshop adds workers to the “narrow” WP, removing them from the points of the line with zero work in progress. The number of those added and withdrawn are the same in all periods, so that in fact there is a redistribution of existing workers. The goal of the shop management in this case is the approximate alignment of the WP production, which improves the performance of the entire line.

The first task in the study of the issue raised is to find the conditions under which the shop management will be able to achieve their goals. Secondly, to achieve the goals, if possible, it is necessary to find the number of workers that should be withdrawn and transferred in each period, and the required number of periods per shift.

The main (and real) assumption in these related tasks is that the number of workers is limited from above by the allocated staff, workers do not receive from outside to the production line. For a still closer approach to reality, let us assume that the number of workers on a line is not forbidden to decrease for a certain period. This can be represented as a consequence of disability. We will also assume that it is possible to move labor from any WP to any other. To realize this possibility, organization of parallel WP is required.

Mathematical wording

It can be considered that redistributing additional labor between the WP, the master redistributes (in the opposite direction) the work in progress. We represent the amount of unfinished production by vector strings, the i -th component of which corresponds to the unfinished production at the i -th WP. Then $e^{\rightarrow} = \|e_i\|$ sets the incomplete production at various points of the production line at the present time; $c^{\rightarrow} = \|c_i\|$ – incomplete production, added (and withdrawn) by the master in each period of time; $g^{\rightarrow} = \|g_i\|$ – the goal to which the master aspires. It is clear from the definition that e^{\rightarrow} and g^{\rightarrow} are non-negative, and c^{\rightarrow} contains positive and negative components. If positive, this means an increase, and if negative, a decrease in uncompleted production (an increase in labor force) at the i -th WP.

Let p_{ij} denote the share of the j -th WP that has switched to the i -th WP during the period. Since $0 \leq p_{ij} \leq 1$, we can consider p_{ij} as probabilities (most often, within the framework of the stated conditions, the values $p_{ij} = 0$ and $p_{ij} \cong 0.5$ will occur). This allows you to apply the theory of Markov chains. The “states” of the chain are WP; the possibility of transfer of labor between any pair of WP means that these states are communicating.

If the additional labor force is constant, then $\sum_i p_{ij} = 1$ and the matrix $P = \|p_{ij}\|$ is the matrix of transition probabilities of the ergodic chain. In the accepted assumptions, labor can decrease, therefore we denote $P_n = \|p_{ij}\|$ and add a fictitious WP that collects all the disappearing labor. Then we obtain an absorbing chain with one absorbing state for which the ergodic hypothesis [3] does not hold. Nevertheless, we first consider what the distribution of work in progress will be over n periods for the ergodic case under the assumption that the matrix P_n does not change during many transitions.

Since the initial amounts are given by the vector e^{\rightarrow} , then after one period on the i -th WP there will be $\sum_j e_j \cdot p_{ij}$ of work in progress. This means that the vector $e^{\rightarrow}P$ specifies the distribution of work in progress in one period; similarly, $e^{\rightarrow}P^2$ sets it in two periods, and $e^{\rightarrow}P^s$ – in s periods. Thus, the labor force invested in the production line at the beginning changes the distribu-

tion of the object of labor to $c^{\rightarrow} P^s$ after s periods, the investment in the first period changes the distribution to $c^{\rightarrow} P^{s-1}$ and so on. Consequently, after s periods the total amount of work in progress at the production line will be

$$m^{\rightarrow} = e^{\rightarrow} P^s + \sum_{k=0}^{s-1} c^{\rightarrow} P^k. \quad (1)$$

The first requirement for the total amount of work in progress is that the vector (1) must be non-negative for any s . With this restriction, it is necessary to provide $m^{\rightarrow} \rightarrow g^{\rightarrow}$.

The calculations for the case of the absorbing chain are formally similar. Since we are only interested in the labor force inside the production line, P_n plays the role of P in expression (1), and by analogy we arrive at the following:

$$m^{\rightarrow}_n = e^{\rightarrow} P_n^s + \sum_{k=0}^{s-1} c^{\rightarrow} P_n^k. \quad (2)$$

Again it is necessary to require that m^{\rightarrow}_n be non-negative for s any and converge to the goal g^{\rightarrow} .

Stability conditions for production line

When studying Markov absorbing chains, it is convenient to bring the matrix of transition probabilities to the canonical form

$$P = \begin{pmatrix} I & 0 \\ R & P_n \end{pmatrix},$$

when absorbing states are written first and form a unit matrix I , the remaining elements belong to the zero matrix 0 , and R and P_n – non-negative matrices, including the probabilities of transitions from non-absorbing states. For the final absorbing chain $P_n^s \rightarrow 0$, because the process will necessarily fall into the absorbing state. It is also true [4] that the stronger statement is that the infinite series $L = I + P_n + P_n^2 + \dots$ always converges to the limit $(I - P_n)^{-1}$, therefore the fundamental matrix

$$L = (I - P_n)^{-1} = I + P_n + P_n^2 + \dots$$

plays an important role.

After this, it is obvious that the first member of vector (2) tends to 0, and the second – to $c^{\rightarrow} L$. Therefore, to achieve the goal, it is necessary to fulfill the condition with $c^{\rightarrow} L = g^{\rightarrow}$, which means that if the goal g^{\rightarrow} is attainable, then there is a single vector

$$c^{\rightarrow} = g^{\rightarrow} (I - P_n), \quad (3)$$

leading to a goal. Substituting in the expression (2) instead of c^{\rightarrow} its value (3), we get

$$m^{\rightarrow}_n = e^{\rightarrow} P_n^s + g^{\rightarrow} (I - P_n) \sum_{k=0}^{s-1} P_n^k = e^{\rightarrow} P_n^s + g^{\rightarrow} (I - P_n^{s+1}) \geq 0$$

or

$$(g^{\rightarrow} P_n - e^{\rightarrow}) P_n^s \leq g^{\rightarrow} \quad (\text{for } s \geq 0). \quad (4)$$

It is tediously in practice to check the entire mass of conditions recorded, so the following statement should be useful, limiting the number of conditions to be checked.

S t a t e m e n t. If, after k periods of redistribution of labor, work in progress chosen as a goal in any WP is not less than the labor intensity given by the vector $(g^{\rightarrow} P_n - e^{\rightarrow}) P_n^k$, then (4) is feasible for all $s \geq k$.

P r o o f. Denote by $r^{\rightarrow} = (g^{\rightarrow}P_n - e^{\rightarrow})P_n^k$. Then $(g^{\rightarrow}P_n - e^{\rightarrow})P_n^s = r^{\rightarrow}P_n^{s-k}$, and the elements of the matrix P_n of any degree do not exceed unity. Therefore, the components of the vector $r^{\rightarrow}P_n^{s-k}$ are bounded above by the value $\sum_i |r_i|$. Consequently, if the inequality $\sum_i |r_i| \leq \min g_i$ (or $\sum_i |r_i| \leq g_i$, if the PL synchronization is perfect) is right, then the expression (4) is valid for $s \geq k$, and since $P_n^k \rightarrow 0$, then $r \rightarrow 0$. Hence, for sufficiently large k holds $\sum_i |r_i| \leq \min g_i$, and the assertion is proved.

Now we have an effective procedure for checking conditions (4) in a reasonable number of steps. We calculate $(g^{\rightarrow}P_n - e^{\rightarrow})P_n^s$ for all s , starting with $s = 0$. If inequality (4) is violated for any s , then the goal g^{\rightarrow} is unachievable. But if there is a vector $(g^{\rightarrow}P_n - e^{\rightarrow})P_n^s$ satisfying the condition of the statement, then it is never violated and, therefore, g^{\rightarrow} is achievable. Often, calculations can be stopped earlier, and namely: if the calculated vector does not exceed the previous one, and expression (4) is true for any k .

We will now solve the second of the assigned tasks – we will find what labor must be transferred to the PL during this period with the attainable goal g^{\rightarrow} . If 1^{\rightarrow} is a column vector, all elements of which are equal to one, we can find $c^{\rightarrow}1^{\rightarrow}$, and this equals $g^{\rightarrow}(I - P_n)1^{\rightarrow}$. Let $q^{\rightarrow} = (I - P_n)1^{\rightarrow} \geq 0$. Then the total sum should be $g^{\rightarrow}q^{\rightarrow}$. This means that the column vector q^{\rightarrow} turns the goal into labor, which must be moved along the PL each period. Since the working force disappears from the system in a random absorbing chain, it is not surprising that $c^{\rightarrow}1^{\rightarrow} > 0$. This means, however, that $c \geq 0$, since $g^{\rightarrow}(I - P_n)$ has a negative component.

An interesting feature of solution (3) for PL is that c^{\rightarrow} does not depend on the vector of the initial work in progress e^{\rightarrow} .

Conclusion

It is difficult to expect that a single model could describe all aspects of the functioning of a system. And in the absence of comprehensive, particular models should be applied for different categories of questions regarding the same system. In the light of such an approach to modeling, the proposed representation of production lines for assembly by Markov chains should help clarify the processes occurring in the lines and, ultimately, their design.

References

1. Гвишиани Д.М. Предисловие к кн.: Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. (Индустриальная динамика). М.: Прогресс, 1971. 340 с.
2. Sarin S.C., Erel E., Dar-El E.M. A methodology for solving single-model, stochastic assembly line balancing problem. *Omega*. 1999. Vol.27. P. 525-535.
3. Chiang W.C., Urban T.L. A hybrid heuristic for the stochastic U-line balancing problem. University of Tulsa Working Paper. 2002.
4. Nicosia, G., Pacciarelli, D., Pacifici, A. Optimally balancing assembly lines with different workstations. *Discrete Applied Mathematics*. 2002. V.118. P. 99-113.
5. Scholl, A., Becker, C. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft*, 2003.
6. Amen, M. Heuristic methods for cost-oriented assembly line balancing: A comparison on solution quality and computing time. *International Journal of Production Economics*. 2001.V. 69. P. 255-264.
7. Carnahan B.J., Norman B.A., Redfern M.S. Incorporating physical demand criteria into assembly line balancing. *IIE Transactions*. 2001. V.33. P. 875-887.
8. Bukchin J., Dar-El E.M., Rubinovitz J. Mixed-model assembly line design in a make-to-order environment. *Computers & Industrial Engineering*. 2002. V.41. P. 405-421.
9. Sa V.R.A, Mathewa J., Josea P., Sivan G. Optimization of Cycle Time in an Assembly Line Balancing Problem. *Procedia Technology*. 2016. V.25. P. 114-1153.
10. Ajenblit D.A., Wainwright R.L. Applying genetic algorithms to the U-shaped assembly line balancing problem. *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*. 1998. P. 96-101.
11. Awasare A.D., Panchal J.R. Application of operation research techniques for solving assembly line balancing problem. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 2017. V. 4 (2). P. 29-31.
12. Becker C., Scholl A. Survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*. 2006. V.168. P. 694-715.
13. Rekiek B., Dolgui A., Delchambre A., Bratcu A. State of art of optimization methods for assembly line design. *Annual Reviews in Control*. 2002. V.26. P. 163-174.
14. Scholl A., Becker C. State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft*. 2003.
15. Batta O., Dolgui A. A taxonomy of line balancing problems and their solution approaches. *International Journal of Production Economics*. 2013, V.142 (2). P. 259-277.
16. Boysen N., Fliedner M., Scholl A. A classification of assembly line balancing problems. *European Journal of Operational research*. 2007. V.183. P. 674-693.
17. Boysen N., Fliedner M., Scholl A. Assembly line balancing: *Which model to use when* *Int. J. production Economics*. 2008. V.111. P. 509-528.
18. Sotskov Y., Dolgui A., Portmann M.C. Stability analysis of optimal balance for assembly line with fixed cycle time. *European Journal of Operational Research*. 2003.

**ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПОТОКОВОЇ ЛІНІЇ СКЛАДАННЯ
ЯК ПОГЛИНАЮЧОГО МАРКОВСЬКОГО ЛАНЦЮГА**

О. М. Тининика

Національний університет «Одеська політехніка»
пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: polalek562@gmail.com

Складальні лінії є загальноприйнятим засобом масового і серійного виробництва і навіть застосовуються для виготовлення продукції невеликого обсягу за індивідуальними замовленнями. Вони представляють собою орієнтовані на потік виробничі системи. При (пере)налаштуванні складальної лінії завжди виникає важлива задача її балансування. Вона з'явилася в переліку задач з початком використання складальних ліній і полягає в раціональному розподілі по робочих місцях повного робочого навантаження, необхідного для виготовлення одиниці продукції. Цей інструмент допомагає підвищити пропускну спроможність складальної лінії при деякому зниженні вимог до кваліфікації робочої сили. Протягом перших сорока років існування складальних ліній для балансування використовувалися тільки методи проб і помилок. Потім були розроблені інші методи балансування для різних структур і умов роботи ліній. У статті запропоновано спосіб контролю і регулювання незавершеного виробництва потокової лінії, що полягає в періодичному перерозподілі робочих по робочих місцях, тобто в перерозподілі незавершеного виробництва (в зворотному напрямку). Мета регулювання – наближене вирівнювання вироблення робочих місць і підвищення за рахунок цього продуктивності всій лінії при допущенні, що ззовні робочі на поточкову лінію не надходять. Конкретна задача стійкості лінії складання вирішується методами теорії марковських ланцюгів. Побудована модель потокової лінії складання як поглинаючого марковського ланцюга. Доведене в роботі твердження формулює умови, при яких керівництво цеху може з заданою точністю вирівняти вироблення робочих місць потокової лінії, використовуючи резервну робочу силу. Подання потокової лінії марківським ланцюгом дозволяє знайти ту єдину кількість робочих, яка повинна перерозподілятися між робочими місцями для досягнення мети, і потрібне число перерозподілів за зміну.

Ключові слова: потокова лінія складання, моделювання, марківський ланцюг, регулювання, стійкість.

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE IMPLEMENTATION OF COMPUTATIONAL ALGORITHMS USING THE OpenMP STANDARD FOR PARALLELIZING PROGRAMS

O.O. Zhulkovskyi, I.I. Zhulkovska, V.V. Shevchenko

Dniprovsky State Technical University, Dniprobudivska str., 2,
Kamianske, 51918, Ukraine olalz@ukr.net

The relevance of the work lies in the need to increase the efficiency of computer modeling through the use of progressive hardware and software parallelization and synchronization of calculations on modern computers with multi-core architecture. The purpose of the work is to increase the speed of computational algorithms of Thomas algorithm by using advanced technologies for programming parallel computing. Serial and parallel algorithms for software implementation of Thomas algorithm have been developed; a comparative evaluation of the implementation efficiency (speed of execution) of these algorithms by means of an open standard for parallelizing OpenMP programs for a significant (up to 5×10^7) SLAE order was performed. The use of progressive programming technologies in the implementation of the indicated methods for solving SLAEs made it possible to increase the computation speed by 1,9–2,9 times. The obtained results correspond with the known literature data. In this work, the time values of the software implementation of sequential and computational algorithms of Thomas algorithm for SLAEs of significant order were obtained for sequentially and parallelized into two streams using OpenMP tools. The expediency of such parallelization for SLAE of the order of more than $2,5 \times 10^5$ is shown. The practical significance of the work lies in the use of the results obtained in the numerical study of stationary and non-stationary, linear and nonlinear processes in mathematical modeling problems, where the multiple solution of a significant order SLAE is the most resource-intensive stage.

Keywords: a computational algorithm, SLAE numerical solution, Thomas algorithm, speed, parallel computing, OpenMP, speeding up the computations.

Introduction

The rapid development of computer technology, including Improving the PC architecture through the use of ultrafast multi-core processors, increasing cache and system memory, etc. serves as a constant incentive for the synchronous development of software corresponding to these requirements. In addition, the modern tasks of computer modeling, requiring the processing of colossal amounts of data, are ahead of the performance capabilities of single-processor (single-core) computers. The aforementioned served as an impetus for increasing the efficiency of computer modeling and the associated computational experiment through the use of rapidly developing parallel computing technologies.

Thus, the researchers are facing the urgent task of improving the efficiency of computer modeling by increasing the speed of computational algorithms by using modern hardware and software parallelization and synchronization of calculations.

The object of research is the Thomas Algorithm or the Tridiagonal Matrix Algorithm.

The subject of the research is the means of increasing the efficiency (increasing speed) of various modifications of Thomas algorithm by their implementation on computers with a multicore architecture.

The purpose of the work is to increase the efficiency of computer modeling by increasing the speed of computational algorithms by using advanced technologies for programming parallel computing and their implementation on modern computers with multi-core architecture.

To achieve this goal, the following tasks are set before work:

- develop sequential and parallelized algorithms for software implementation of Thomas algorithm;
- perform a comparative assessment of the implementation efficiency (speed of execution) of these algorithms, including using OpenMP (Open Multi-Processing) open standard tools for a significant order of SLAE in IDE (Integrated Development Environment) MVS (Microsoft Visual Studio) C ++;
- develop recommendations regarding the appropriateness of using a parallel algorithm of Thomas algorithm in the numerical study of all kinds of processes in mathematical modeling problems.

Formal problem statement. As you know, most mathematical models are represented by systems of linear and nonlinear differential equations, the basis of the methods for solving which is solving SLAE (Systems of Linear Algebraic Equations).

Among the widespread computational algorithms used in the numerical solution of SLAEs, the most widely used is Thomas algorithm, which is a special case of the Gauss method with sequential exclusion of unknowns and used to solve systems of equations with a three-diagonal matrix [1]. Matrices of this type also arise in solving spline interpolation problems [2].

The main objective of the work is to further develop approaches to improve the efficiency of computer modeling using parallel computational algorithms of Thomas algorithm by implementing them on computers with a multi-core architecture.

In this paper, we set the task of comparatively evaluating the efficiency (speed of execution) of a serial Thomas algorithm parallel and parallelized into two streams using the open standard OpenMP algorithm for a significant (up to 5×10^7) SLAE order.

Literature review

One of the most common methods for classifying computer architectures is Flynn's taxonomy systematics, in which the main attention when analyzing the architecture of computer systems is paid to the methods of interaction between sequences (streams) of executed commands and processed data [3].

This classification uses two concepts to build parallel organizations — the instruction stream and the data stream [4].

Depending on the multiplicity of these flows, Flynn proposed the following four classes of organization of architectures [5].

1. SISD (Single Instruction, Single Data) is a traditional von Neumann architecture computer with one processor, executing one command after another in succession, working with one data stream. This type includes pipelined, super-scalar and VLIW (Very Long Instruction Word) processors.

2. SIMD (Single Instruction, Multiple Data) is one of the most common types of parallel computers. This class includes vector processors, ordinary modern processors, when they execute vector extension commands, matrix processors. Here, one processor loads one command, the data set for them, and performs the operation described in this command on the entire data set at the same time.

3. MISD (Multiple Instruction, Single Data) is, in fact, a hypothetical class, since real systems of representatives of this type do not yet exist. Some researchers attribute to it conveyor computers.

4. MIMD (Multiple Instruction, Multiple Data) is another common type of parallel computer, including multiprocessor systems, where processors process multiple data streams. This, as a rule, includes traditional multi-processor machines, multi-core and multi-threaded processors, as well as computer clusters.

All modern advanced processors, both general and special purpose, fall into the MIMD class [5]. They simultaneously execute several independent threads of instructions at once, providing hardware parallelism.

Concurrency is a complex problem in solving interdisciplinary direct and inverse super-tasks related to mathematical modeling, which is currently the main tool for obtaining new fundamental knowledge and optimizing industrial production [6]. Programming parallel systems is moving forward rapidly, introducing parallelism wherever performance matters. These systems provide all models with their own set of computing environment of the enterprise, including application scalability, increased resource utilization, faster execution time [7]. Therefore, the use of parallel programming is of considerable interest here.

Today, there are a number of high-performance specialized BLAS (Basic Linear Algebra Subprograms) libraries for optimizing and accessing mathematical calculations. BLAS libraries, such as Intel MKL (Math Kernel Library), AMD (Advanced Micro Devices, Inc.) CML (Core Math Library), or CUBLAS (CUda Basic Linear Algebra Subroutines) for NVIDIA GPUs, are configured for their own architecture. All vendors optimize BLAS code specifically for their base equipment to achieve maximum performance [8].

For scientific, engineering and financial calculations requiring maximum performance, the most popular is the Intel MKL library of optimized and parallelized mathematical procedures, compatible with advanced development environments and compilers.

Of greatest interest for the present work is the well-known [9] similar study of the performance of Thomas algorithm, carried out using the Intel MKL library.

The HPC (The High Performance Computing) community has developed a wide variety of parallel programming models to simplify the expression of the required levels of parallelism for using hardware capabilities. So, to provide parallel computing in C ++, which is currently one of the most popular and popular universal object-oriented languages, there are several software APIs (Application Programming Interface) [10]: OpenMP, Cilk Plus, C ++ 11, POSIX threads (PThreads), Intel TBB, OpenCL, Microsoft PPL (Parallel Patterns Library), etc. Each of them has its own unique set of features and benefits. Also, these tools have certain functionalities implemented in various interfaces. For example, most of them support both data parallelism and task parallelism patterns for the CPU.

The most functional and accessible OpenMP interface [11], considered in this study, offers a simple mechanism for implementing parallel computing in applications using multithreading, in which the «master» thread creates a set of «slave» flows and the task is distributed between them. The OpenMP specification is being developed by several large manufacturers of computer hardware and software, whose work is regulated by the non-profit organization OpenMP ARB (Architecture Review Board) [12]. The OpenMP standard is supported by Fortran, C/C ++ and is formulated as an API for writing portable multi-threaded applications on shared-memory multiprocessor systems (SPMD).

The OpenMP library is actively developing to date (now the standard of 2018 version 5.0 is relevant) [13]. At the same time, the MVS C ++ compiler only supports version 2.0, while GCC (GNU Compiler Collection) supports version 4.5 [14].

Portability is associated with the OpenMP programming model, which provides a platform-independent set of compiler directives, function calls and environment variables that clearly «tell» the compiler where and how to use parallelism in the application. Thus, the developer is not burdened by additional difficulties associated with the problems of creating, synchronizing, balancing the load and destroying threads.

OpenMP technology aims to ensure that the user has one version of the program for parallel and sequential execution. However, it is possible to create programs that work correctly exclusively in parallel mode, and in sequential mode give a different result. In addition, due to the accumulation of rounding errors, the result of performing calculations using a different number of threads may differ in some cases, which must be taken into account when analyzing the results of a computational experiment.

Main part

Materials and Methods. As you know, Thomas algorithm itself is an effective method for classical type architectures, unsuitable for productive implementation even on single-core superscalar systems that support parallelism at the instruction level. To parallelize a SLAE solution with a three-diagonal matrix, use its parallel substitute. Therefore, the study of the scalability efficiency of the classical Thomas algorithm, as an absolutely non-parallel algorithm, is not of practical interest. At the same time, of considerable interest is the analysis of the scalability of parallel versions of the method relative to its classical uniprocessor implementation [15].

In this case, the complexity of the sequential method, characterized by the time of solving SLAE of order n , is determined [9] by the value $10n\tau$, while for the parallel two-sided Thomas algorithm this value is $5n\tau+\delta$. It is easy to see that the theoretical acceleration of the calculation process due to parallelization cannot exceed two.

Also, according to Amdahl's law [16], used to estimate possible acceleration in parallel data processing by more than one module, the theoretical limit for acceleration due to parallelization into two streams (for this work) is equal to two. Even such an acceleration value will provide a significant increase in the efficiency of computer modeling as a whole, which, in fact, is the goal of this work.

As mentioned above, in this paper, to parallelize the software implementation of the two-sided Thomas algorithm, we used the most popular OpenMP library in mathematical calculations, which provides an accessible and multifunctional parallel computing interface.

A significant part of OpenMP functionality is implemented using compiler directives of the form:

```
#pragma omp <directive> [modifier[[,] modifier]...],
```

allowing parallel computing of different sections of code.

The number of threads in a group running in parallel can be controlled in several ways. One of them is the use of the environment variable `OMP_NUM_THREADS`. Another way is to call `omp_set_num_threads ()`. Another way is to use the `num_threads` expression in combination with the `#pragma omp parallel` directive [11]. In this computational experiment, the second of the approaches was used.

During the execution of the program, the values of the computation time were recorded using the `steady_clock` class from the C++ `<chrono>` library, which represents a monotonous clock that is not related to the system time and therefore most suitable for measuring the intervals under study.

Experiments and results. When performing this kind of research, it is assumed that the processors available in the structure of the computer are equal in performance, are equal in access to the shared memory, and the access time to the memory is the same. The above set of requirements is satisfied by the multi-core processors of modern PCs, in which each core is an almost independently functioning computing module. Thus, such studies must be carried out exclusively on systems with multi-core (from two cores) CPUs, such as, for example, in this case (Table 1).

For the purpose of conducting research, the functions of the software implementation of the classical sequential right-run method and the counter-parallel (parallel combination of left and right) Thomas algorithm parallel to two streams were developed.

In the study, the size of SLAEs was varied in the range of 1×10^5 — 5×10^7 , and the values of the coefficients of the equation were randomly generated (taking into account the conditions for the diagonal prevalence of the matrix) into variables of standard, hardware-supported type double.

Table 1.

Computing Experiment Infrastructure		
CPU		Intel Core i5-8400 (6 cores, 2.8 GHz), cache 9 MB
Memory (RAM)		Goodram DDR4 (4 GB, 2666 MHz, 21300 MB/s)×4
Operating system (OS)		Microsoft Windows 10
Development environment (IDE)		MVS C++ 15.9
Programming technology		OpenMP, v.2.0

The calculation results (Table 2) reflect the time of the software implementation of the sequential algorithms of the right-eliminations and two-sided Thomas algorithm, as well as the options for the two-sided Thomas algorithm parallel to two streams depending on the order of the SLAE.

Table 2.

SLAE order	Sequential Algorithms			Parallel Algorithm		
	right-eliminations ($t1, c$)	two-sided ($t2, c$)	$s1=t1/t2$	two-sided ($t3, c$)	$s2=t1/t3$	$s3=t2/t3$
100000	0,001969	0,001070	1,84019	0,001890	1,04180	0,56614
200000	0,003778	0,002325	1,62495	0,002502	1,50999	0,92926
300000	0,005328	0,003411	1,56201	0,003177	1,67705	1,07365
400000	0,007292	0,004712	1,54754	0,003646	2,00000	1,29238
500000	0,009424	0,005836	1,61480	0,004201	2,24328	1,38919
600000	0,010809	0,007042	1,53493	0,004684	2,30764	1,50342
700000	0,012564	0,008276	1,51812	0,005502	2,28353	1,50418
800000	0,014579	0,009442	1,54406	0,005996	2,43145	1,57472
900000	0,016272	0,011038	1,47418	0,006652	2,44618	1,65935
1000000	0,018275	0,011839	1,54363	0,007466	2,44776	1,58572
2500000	0,047037	0,030118	1,56176	0,017072	2,75521	1,76418
5000000	0,092932	0,058827	1,57975	0,032406	2,86774	1,81531
10000000	0,184777	0,119720	1,54341	0,064571	2,86161	1,85408
15000000	0,301776	0,198740	1,51845	0,104556	2,88626	1,90080
20000000	0,370866	0,238921	1,55225	0,127913	2,89936	1,86784
35000000	0,654413	0,418034	1,56545	0,237180	2,75914	1,76252
50000000	0,942063	0,610584	1,54289	0,367498	2,56345	1,66146

The most relevant results illustrating the novelty and significance of the work are presented in Fig. 1—3.

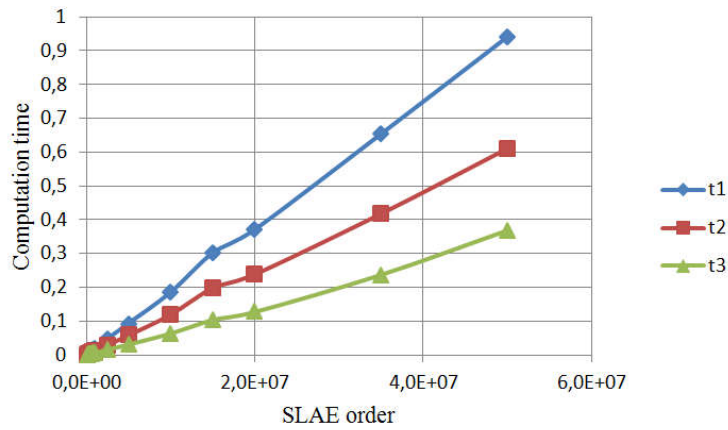


Fig. 1. The dependence of the solution time on the SLAE order in the range of 1×10^5 — 5×10^7 for the implementation of Thomas algorithm: t1 — right-eliminations (sequential calculation); t2 — two-sided (sequential calculation); t3 — two-sided (parallel calculation)

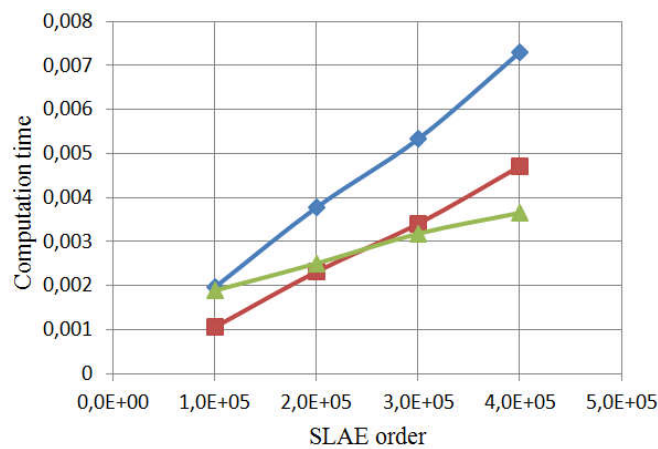


Fig. 2. The dependence of the solution time on the SLAE order in the range of 1×10^5 — 4×10^5 for the implementation of Thomas algorithm: t1 — right-eliminations (sequential calculation); t2 — two-sided (sequential calculation); t3 — two-sided (parallel calculation)

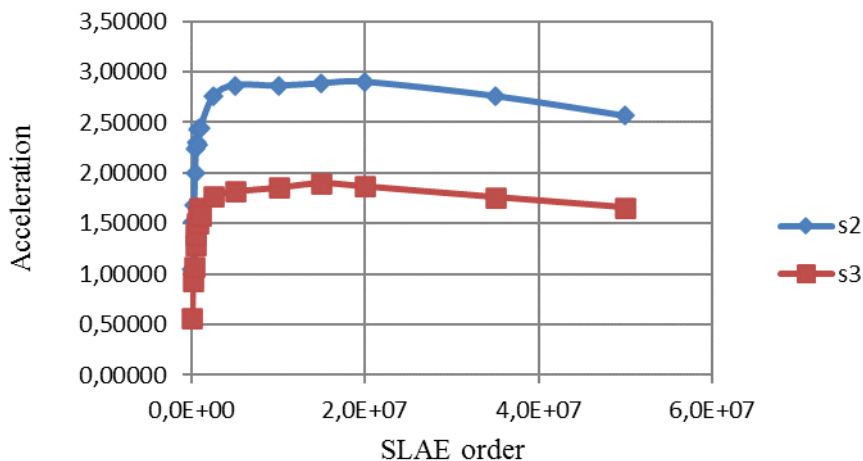


Fig. 3. The dependence of the parallel calculation acceleration on the SLAE order with respect to the sequential implementation of the right-eliminations (s2) and two-sided (s3) Thomas algorithm

Discussion

As the research results showed, the use of the two-sided Thomas algorithm (without using the OpenMP parallelization tools), instead of the traditional method of right-elimination (or left, it doesn't matter) Thomas algorithm, allows even on single-core architectures to increase the speed of the computational algorithm as a whole (Fig. 1, 2). Thus, the acceleration (s_1) due to such a replacement in the studied range of changes in the order of SLAEs amounted to 1,47—1,84.

For any of the considered implementations of Thomas algorithm, the maximum computation time under the conditions of the used infrastructure of the computational experiment in the studied range of changes in the order of SLAEs did not exceed one second (Fig. 1).

Realization of parallel computations using the two-sided Thomas algorithm (using OpenMP parallelization tools) instead of the traditional one allows speeding up the computation process (s_2) by 1,04—2,90 times in the same range of order changes of SLAEs (Fig. 3).

Not so unambiguous is the conclusion about the effectiveness of a parallelized algorithm (counter-running) and the use of special software tools for such parallelization compared to a serial analog in the considered range of matrix size variation. So, under the conditions of the used infrastructure of the computational experiment for SLAE of the order of less than $2,5 \times 10^5$, the execution time of parallel calculations when implementing the two-sided Thomas algorithm will be longer than for the traditional sequential calculation procedure, i.e. $t_3 > t_2$ (Fig. 2) and $s_3 < 1$ (Fig. 3). For more significant values ($> 2,5 \times 10^5$) of the SLAE order, the comparative calculation time becomes shorter and acquires predictable values, and the acceleration s_3 exceeds unity (i.e., the process begins to accelerate) and reaches a value of 1,9.

The slowdown of calculations for SLAEs of the order of less than $2,5 \times 10^5$ is explained by the use of computer time to create computational flows (values δ are comparable or exceed the time of direct calculations) with a relative slowdown in the software implementation of the parallelized algorithm. Thus, the issue of the inappropriateness of using multi-core architectures and parallel technologies to a certain order of SLAEs is being updated.

As can be seen (Fig. 3, graph s_3), the results obtained in the present study [17, 18] are fully consistent with Amdal's law, as well as with the results of similar studies by Russian scientists [9] obtained on a PC of similar architecture using Intel MKL math library.

In general, irrespective of the approach to the implementation of one or another of the studied algorithms of Thomas algorithm, with the increase in the size of the matrix, the computation time also increases almost in direct proportion. However, the acceleration of calculations due to the use of parallelized algorithms at significant orders of magnitude ($> 2,5 \times 10^5$) SLAE always exceeds unity (Fig. 3), which means that they favor the use of such algorithms in practice when processing significant amounts of data.

Conclusion

Thus, the feasibility of using advanced hardware and software to increase the efficiency of a computational experiment by organizing parallel computing using modern multi-core architectures is proved.

The use of these programming technologies in the implementation of the common methods for solving SLAEs made it possible to increase the computation speed by 1,9—2,9 times.

However, the development of algorithms and programs oriented to multi-threaded computing requires higher qualifications of both an applied mathematician and a programmer, and the developed applications turn out to be rigidly tied to a specific computer computing

architecture. As studies have shown, overcoming these difficulties will be advisable only when developing computer models with a significant amount of arithmetic calculations.

The scientific novelty of the work lies in the further development of progressive approaches to increasing the efficiency of computer modeling using parallel computational algorithms of Thomas algorithm by their implementation on computers with multicore architecture. For the first time, the values of the software implementation time of sequential and parallelized into two streams using OpenMP computational algorithms for Thomas algorithm for a significant (up to 5×10^7) SLAE order are obtained. The expediency of such parallelization for the order of SLAEs of more than $2,5 \times 10^5$ is shown.

The practical significance of the work lies in the use of the results obtained in the numerical study of stationary and non-stationary, linear and nonlinear processes in mathematical modeling problems, where the multiple solution of SLAEs of a significant order is the most resource-intensive stage.

The prospects for further research are seen in the development of such studies in the context of a deeper parallelization of the considered computational algorithm through the use of a more laborious, but also more scalable modification of Thomas algorithm, as well as the use of other, no less advanced, software tools for implementing parallel computing processes.

References

1. Samarskij A.A. Teorija raznostnyh shem. M.: Nauka, 1989. 616 s.
2. Verzhbickij V.M. Chislennye metody (matematicheskij analiz i obyknovennye differencial'nye uravnenija). M.: Vysshaja shkola, 2001. 382 s.
3. Gergel' V.P., Strongin R.G. Osnovy parallel'nyh vychislenij dlja mnogoprocessornyh vychislitel'nyh sistem. N. Novgorod: NNGU im. N.I. Lobachevskogo, 2003. 184 s.
4. Ngoko Y., Trystram D. Revisiting Flynn's Classification: The Portfolio Approach. Euro-Par 2017: Parallel Processing Workshops, University of Santiago de Compostela, 28–29 August 2017. *Santiago de Compostela*. Springer, 2017. P. 227–239. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75178-8_19.
5. Kudin A.V., Linjov A.V. Arhitektura i operacionnye sistemy parallel'nyh vychislitel'nyh system. N. Novgorod: NNGU im. N.I. Lobachevskogo, 2007. 73 s.
6. Il'in V. On the Parallel Strategies in Mathematical Modeling. *Parallel Computational Technologies: 11th International Conference PCT 2017, Kazan*, 3–7 April 2017. Springer-Verlag, 2017. P. 73–85. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-67035-5_6.
7. Kvasnica P., Kvasnica I. Distributed Mathematical Model Simulation on a Parallel Architecture. *Journal of Computing and Information Technology*. 2012. Vol. 20, № 2. P. 61–68. DOI:10.2498/cit.1001771.
8. Gepner P., Gamayunov V., Fraser D. Effective implementation of DGEMM on modern multicore CPU. *Procedia Computer Science*. 2012. Vol. 9. P. 126–135. DOI: 10.1016/j.procs.2012.04.014.
9. Barkalov K.A. Metody parallel'nyh vychisleni. N. Novgorod: NNGU im. N.I. Lobachevskogo, 2011. 124 s.
10. Salehian S., Liu J., Yan Y. Comparison of Threading Programming Models. *IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops (IPDPSW)*, Lake Buena Vista, USA, 29 May–2 June 2017. IEEE, 2017. P. 766–774. DOI:10.1109/IPDPSW.2017.141.

11. Antonov A.S. *Parallel'noe programmirovaniye s ispol'zovaniem tehnologii OpenMP*. M.: MGU, 2009. 77 s.
12. Grudzinskij D.A. *Chesloobraznost' sozdaniya standarta OpenMP dlja obektno-orientirovannykh jazykov programmirovaniya na primere Java*. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2011. № 3(2). S. 201–206.
13. Open MP Technical Report 7: *Version 5.0 Public Comment Draft*, July 2018. URL: <https://www.openmp.org/wp-content/uploads/openmp-TR7.pdf>.
14. Yliluoma J. *Guide into OpenMP: Easy multithreading programming for C++*. URL: <https://bisqwit.iki.fi/story/howto/openmp/>.
15. Frolov A.V., Voevodin V.V., Teplov A.M. *Progonka, tochechnyj variant*. URL: <https://algowiki-project.org>.
16. Popov G., Mastorakis N., Mladenov V. *Calculation of the acceleration of parallel programs as a function of the number of threads*. ICCOMP'10 Proceedings of the 14th WSEAS international conference on Computers: part of the 14th WSEAS CSCC multiconference, Corfu Island, Greece, 23–25 July 2010. *Stevens Point: World Scientific and Engineering Academy and Society*, 2010. Vol. II. P. 411–414.
17. Zhulkovskyi O., Shevchenko V., Zhulkovska I. *Use of modern software increases the efficiency of computer simulation*. *Zbirnik tez VI Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodix naukovciv «Informacijni tehnologii — 2019»*. K.: Kyiv. un-t im. B. Hrinchenka, 2019. S. 119, 120.
18. Shevchenko V.V., Zhul'kovskij O.A., Zhul'kovskaja I.I., *Ocenka programmnyh sredstv povysheniya jeffektivnosti vychislitel'nogo jeksperimenta*. *Naukova Ukraina: Zbirnik statej V Vseukr. nauk. konf. studentiv»*. Dnipro: Akcent PP, 2019. S. 303–305.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ АЛГОРИТМІВ ЗАСОБАМИ СТАНДАРТУ OpenMP ДЛЯ РОЗПАРАЛЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМ

О.О. Жульковський, І.І. Жульковська, В.В. Шевченко

Дніпровський державний технічний університет, вул. Дніпробудівська, 2,
Кам'янське, 51918, Україна olalzh@ukr.net

Актуальність роботи полягає в необхідності підвищення ефективності комп'ютерного моделювання за рахунок використання прогресивних апаратних і програмних засобів розпаралелювання і синхронізації обчислень на сучасних комп'ютерів з багатоядерною архітектурою. Мета роботи – збільшення швидкодії обчислювальних алгоритмів методу прогонки шляхом використання прогресивних технологій програмування паралельних обчислень. В роботі використовувалися методи матричної алгебри, паралельних обчислень, аналізу ефективності алгоритмів і програм. Розроблено послідовні і розпаралелені алгоритми програмної реалізації методу прогонки; виконана порівняльна оцінка ефективності реалізації (швидкості виконання) даних алгоритмів засобами відкритого стандарту для розпаралелювання програм Open Multi-Processing для значного (до 5×10^7) порядку систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Використання прогресивних технологій програмування при реалізації зазначених методів вирішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь дозволило збільшити швидкість обчислень в 1,9-2,9 рази. Отримані результати кореспондуються з відомими літературними даними. Наукова новизна роботи полягає в подальшому розвитку прогресивних підходів до підвищення ефективності комп'ютерного моделювання, що використовує розпаралелені обчислювальні алгоритми методу прогонки шляхом їх реалізації на сучасних комп'ютерах. В роботі вперше отримані значення часу програмної реалізації послідовних і розпаралеленого на два потоки засобами Open Multi-Processing обчислювальних алгоритмів методу прогонки для систем лінійних алгебраїчних рівнянь значного порядку. Показана доцільність такого розпаралелювання для систем лінійних алгебраїчних рівнянь порядку більше $2,5 \times 10^5$. Практична значимість роботи полягає в використанні отриманих результатів при чисельному дослідженні стаціонарних і нестаціонарних, лінійних і нелінійних процесів в задачах математичного моделювання, де багаторазове рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь значного порядку є найбільш ресурсомістких етапом. Перспективи подальших досліджень проглядаються в контексті більш глибокого розпаралелювання алгоритму за рахунок використання більш масштабованої модифікації методу прогонки.

Ключові слова: обчислювальний алгоритм, чисельне рішення СЛАР, Open Multi-Processing метод прогонки, швидкодію, паралельні обчислення, OpenMP, прискорення обчислень.

**ОГЛЯД АДАПТИВНИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ
ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЗАВАДОСТІЙКОГО
КОДУВАННЯ У СИСТЕМАХ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ****С.В. Зайцев, В.М. Василенко, С.М. Семендяй**Національний університет «Чернігівська політехніка»
м. Чернігів, 14035, вул. Шевченка, 95
E-mail: serhii_semendiai@icloud.com

Аналіз сучасного стану та розвитку систем бездротового зв'язку, таких як системи мобільного зв'язку першого покоління 1G, другого покоління 2G, третього покоління 3G, четвертого покоління 4G LTE-Advanced, п'ятого покоління 5G, WiMax та WiFi, свідчить про необхідність застосування інформаційних технологій, які дозволяють ефективно передавати дані в режимі реального часу. В таких системах забезпечення заданого рівня достовірності передачі інформації здійснюється за рахунок використання інформаційних технологій адаптації та кодування. За умови підвищення рівня шумів, існуючі методи забезпечення достовірності інформації на основі коригуючих кодів не забезпечують заданих показників ефективності передачі інформації. При обмеженнях на параметри кодів, в системах з адаптацією, у випадку підвищення рівнів шумів до певного значення, забезпечення заданих характеристик достовірності інформації стає неможливим. Тому постає питання застосування турбокодів та їх багаторівневої параметричної адаптації. При зворотному декодуванні даних виникає потреба в апріорних відомостях щодо функцій правдоподібності прийнятих даних з урахуванням процедури декодування алгоритмів, що засновані на ймовірнісному декодуванні, а саме для турбокодів. Можна сформулювати оцінки невизначеності інформації при декодуванні, мінімізувати ці оцінки вибором правил рішення за допомогою методів параметричної адаптації та забезпечити достовірність передачі інформації.

Ключові слова: достовірність, завадостійке кодування, бездротовий зв'язок, методи оптимізації.

Вступ

Канали зв'язку характеризуються ймовірністю помилкового прийому під впливом різних завад (шумів) у межах $p=10^{-2}$ – 10^{-5} , рідше 10^{-6} і менше. В умовах радіоелектронного подавлення засобами РЕБ противника систем і мереж радіозв'язку величина p може досягати $p \geq 10^{-1}$.

Сучасні системи передачі даних вимагають ймовірності кількості помилок на один знак на виході не більше $P_{пз} \leq 10^{-6}$ – 10^{-10} , тому, ставиться задача підвищення достовірності на 3-5 порядків і більше.

Методи підвищення достовірності:

- застосування завадостійких методів модуляції/демодуляції сигналів;
- застосування завадостійких кодів, що виявляють та виправляють помилки у прийнятих кодових комбінаціях;
- покращення характеристик каналів зв'язку, що залежить від технічних можливостей та економічної доцільності;
- використання систем із зворотним каналом, в яких по зворотному зв'язку від приймача до передавача посилаються запити на повторну передачу, у разі необхідності, повідомлення в цілому або його частини;
- використання різноманітних методів підвищення достовірності, що має місце на практиці;

– кількаразове повторення повідомлення каналом зв'язку або паралельними каналами, зі спеціальною обробкою (наприклад, мажоритарною обробкою або синхронним накопиченням) на приймальній стороні.

Одним з найефективніших способів боротьби з помилками у прийнятих повідомленнях є використання завадостійких кодів. Сфера їх застосування інтенсивно розширюється, що пов'язано з розвитком цифрових методів представлення повідомлень, потребами у забезпеченні високих якісних показників обміну інформацією, створенням нових та спеціальних інформаційно-телекомунікаційних середовищ, зокрема, дальнім космічним зв'язком з об'єктами на інших небесних тілах, необхідністю управління космічними видами озброєння, підвищеною небезпекою подавлення ліній та мереж радіозв'язку засобами РЕБ противника.

Мета і задачі дослідження

Метою роботи є проведення огляду адаптивних методів забезпечення достовірності передачі інформації, що застосовуються на сучасному етапі при використанні завадостійкого кодування у системах бездротового зв'язку.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Розглянути адаптивні методи передачі інформації каналами зв'язку.
2. Розглянути варіанти використання завадостійких кодів.
3. Розглянути методи оптимізації систем передавання інформації.
4. Зробити припущення щодо шляхів подальшого розвитку адаптивних методів забезпечення достовірності передачі інформації.

Основна частина

В статті розглядається використання на сучасному етапі адаптивних методів забезпечення достовірності передачі інформації при використанні завадостійкого кодування у системах бездротового зв'язку.

При проектуванні сучасних телекомунікаційних систем виникає питання забезпечення високої достовірності інформації, особливо при обміні комп'ютерними даними чи у спеціалізованих військових системах передачі. Як правило, це питання вирішується за допомогою використання завадостійких кодів та інших методів підвищення достовірності.

Вибір застосування того чи іншого коду залежить від вимог, які пред'являються до системи. У свою чергу, ці вимоги формуються на основі ймовірності кількості помилок на один знак, яку повинна забезпечити система на своєму виході, швидкості передачі, технічної складності, надійності та вартості.

Відомо, що найбільшу ймовірнісну ефективність забезпечує код у режимі виявлення помилок. Саме тому у системах із зворотним зв'язком такий режим найбільш доцільний, зокрема, варіанти використання кодів з виявленням помилок реалізовані в модемах V.34, V.90 (V.92) тощо. Щодо питання, який саме код вибрати в режимах виявлення помилок, то із усіх можливих варіантів сучасна практика надає перевагу циклічним кодам Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ), які характеризуються простотою реалізації й високими коректувальними можливостями. При визначенні кратності помилок, які повинен виявляти код, слід орієнтуватися на найбільш ймовірні помилки або на задане значення ймовірності невиявлених помилок – на основі цих даних і визначаються кратності помилок, які підлягають виявленню. Відповідні данні можуть бути отримані на основі розрахунків з використанням певної математичної моделі каналу зв'язку, уточнені моделюванням тракту обробки і передачі сигналу та, за можливості, перевірені експериментально.

Найпростіша система з виявленням помилок – це система з використанням кодів з перевіркою на парність. Додаючи один розряд з перевіркою на парність, система забезпечує виявлення 50% усіх помилок (непарної кратності) у кодовій комбінації. Такі коди найчастіше використовуються для внутрішньої діагностики апаратури (комп'ютерів), коли в результаті обробки сигналів пристроями апаратури можуть виникнути помилки. Якщо за результатами роботи якихось процесів переважають парні помилки, то слід використовувати коди з перевіркою на непарність. Ці коди також можуть використовуватись для кодування сигналів, що передаються каналами зв'язку, або для утворення більш складних кодів, зокрема матричних (ітеративних), які мають вищі коректувальні властивості.

Коди з виправленням помилок застосовуються у системах, де зворотний зв'язок не передбачений, зокрема у системах далекого космічного зв'язку (міжпланетні станції) тощо. На практиці кратність виправлених помилок, як правило, не перевищує 3, що пов'язано з ускладненим декодуванням при довгих кодових комбінаціях n . Для виправлення однократних помилок найкращим вважається код Хеммінга при всіх довжинах кодових комбінацій n . Цей код відноситься до класу досконалих кодів, і ніякий інший код не може бути простішим у режимі виправлення однократної помилки. Для виправлення двократних помилок при довжині кодових комбінацій $n \leq 24$ може бути використаний другий досконалий код, із двох відомих, – це код Голея, відомий у двох варіантах – (23, 11), (24, 12). Для інших значень n та інших кратностей помилок доцільно використовувати коди БЧХ, для яких детально розроблені таблиці, що дозволяють вибрати породжуючі поліноми $g(x)$, будувати коди, пристрої кодування і декодування.

Для виправлення пакетів помилок застосовують коди Ріда-Соломона (РС-коди) та згорткові коди. Ці коди також використовуються для побудови каскадних кодів, застосування яких доцільно в каналах (лініях) зв'язку з високим рівнем завад, що досить актуально для ліній зв'язку військового призначення, які можуть піддаватися впливу засобів РЕБ противника. Як правило, каскадні коди складаються із двох ступенів кодування – спочатку одним кодом (зовнішнім), потім закодована послідовність розділяється на коротші послідовності, які кодуються другим кодом (внутрішнім). Внутрішній код виправляє помилки малої кратності ($t = 1, 2, 3$) і виявляє частину помилок вищої кратності, а зовнішній код виправляє пакети помилок, що виявив внутрішній код, а також пакети, які він виявив за рахунок своїх можливостей. На практиці в якості зовнішнього коду використовують, як правило, код Ріда-Соломона, а в якості внутрішніх – БЧХ, згортковий, код Хеммінга. РС-коди і згорткові коди мають високоефективні, проте складні алгоритми декодування, зокрема при декодуванні згорткових кодів використовується алгоритм Вітербі, який є оптимальним, але складним у реалізації і потребує швидкісного процесора та порівняно великого об'єму пам'яті. Результатом симбіозу різних алгоритмів є турбокоди, які показують свою ефективність на лініях зв'язку з високим рівнем завад ($p = 10^{-2} - 10^{-1}$) і дозволяють наблизити пропускну здатність за таких умов до границі Шеннона.

Використання кодів з виявленням і виправленням помилок має місце при побудові каскадних кодів, а також при кодуванні цифрових сигналів у каналах середньої якості, де найбільш ймовірні помилки малої кратності ($t = 1, 2$), а характер повідомлення має внутрішню надмірність, яка дозволяє зкоригувати помилки вищої кратності, на наявність яких вкаже код. Така можливість була реалізована у системах пейджингового зв'язку. Код виправляв помилки малої кратності та виявляв помилки вищої кратності, що відображались у вигляді пропусків у словах та реченнях, а природна надмірність мови давала можливість абоненту відновлювати слова та речення.

Спробуємо проаналізувати методи забезпечення достовірності інформації в системах бездротового зв'язку. В технічній літературі під системою зазвичай розуміють сукупність елементів, що взаємодіють між собою в процесі функціонування пристрою,

що виконує певну поставлену задачу. Повне уявлення про характер системи можна отримати спостерігаючи за нею й виділяючи у неї певні властивості [1].

У процесі розроблення системи постає задача зробити її оптимальною у певному сенсі. Під цим мається на увазі розроблення, синтез такої системи, в процесі роботи якої забезпечувалось би екстремальне (максимальне або мінімальне, у залежності від поставленої задачі) значення показника якості роботи або критерію, який повинен характеризувати ефективність вирішення поставлених задач.

Процедура оптимізації за критерієм оптимальності може здійснюватися різними методами, на основі застосування різноманітного математичного апарату. Вибір методу залежить від властивостей математичної моделі, що описує роботу системи, від різних обмежень на множину оптимізуєючих параметрів, від сукупності параметрів, що піддаватимуться оптимізації.

Ряд ознак, які найбільше впливають на методи оптимізації системи або процеси, що відбуваються в ній:

- тип системи;
- властивості моделі (під моделлю системи маємо на увазі її математичний опис, що характеризує залежність вихідних характеристик системи від вхідної інформації. Моделі систем можуть по-різному бути описані й представляти собою диференціальні та інтегральні рівняння, рекурентні та алгебраїчні відношення тощо);
- умови роботи системи (система може працювати як в умовах наявності повної інформації так і в умовах, коли інформація носить випадковий, стохастичний характер. У цьому випадку оптимізація проводиться в умовах різних рівнів невизначеності. Також можливий варіант, коли маємо деяку апріорну інформацію про ймовірнісні характеристики сигналів та завад, але можливий і такий варіант, коли про вхідну інформацію й зовнішні впливи, які діють на систему, зовсім нічого не відомо);
- характер інформації (у залежності від виду інформації системи класифікують як дискретні, неперервно-дискретні та неперервні).

У решті решт, для коректного формулювання задачі оптимізації системи або процесу, який проходить у системі, необхідно мати відомості про вимоги, застосовані до даної системи та особливості її роботи. На Рис. 1. наведено процес оптимізації.

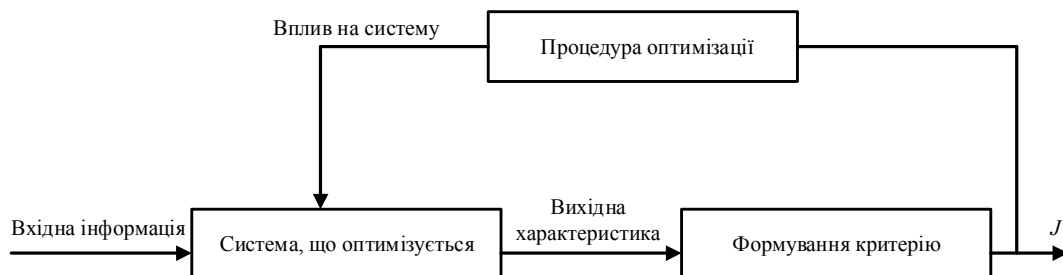


Рис. 1. Процес оптимізації системи

Якість роботи системи характеризується деяким числовим показником J , який потрібно в результаті оптимізації довести до екстремуму (наприклад до максимуму). За відомим значенням критерію, у залежності від методу оптимізації, здійснюється направлений вплив на систему (її параметри та характеристики), який повинен привести до досягнення максимуму J .

Показник системи у загальному випадку залежить від двох факторів:

- від заданих характеристик системи, що не піддаються процедурі оптимізації $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$;
- від характеристик, визначених у процесі оптимізації (вектори керування) $u = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$.

Взагалі, J залежить від вхідної інформації та початкового стану системи.

Класифікація об'єктів оптимізації наведена на Рис. 2.

До статичних об'єктів оптимізації зазвичай відносять розроблювані прилади та системи, у яких оптимізації за заданим критерієм піддаються будь-які характеристики або параметри, що використовуються розробником.

До динамічних об'єктів оптимізації відносять процеси та системи, робота яких оцінюється в часі, що заданий явно або неявно: наприклад процеси передачі та прийому інформації в системах з використанням турбокодів.

До детермінованих об'єктів оптимізації відносять статичні та динамічні об'єкти, характеристики та параметри яких повністю й однозначно визначені в конкретний момент часу. Об'єкти оптимізації є ймовірнісними, якщо хоча б одна характеристика чи параметр, що беруть участь у задачі оптимізації, мають ймовірнісне походження.

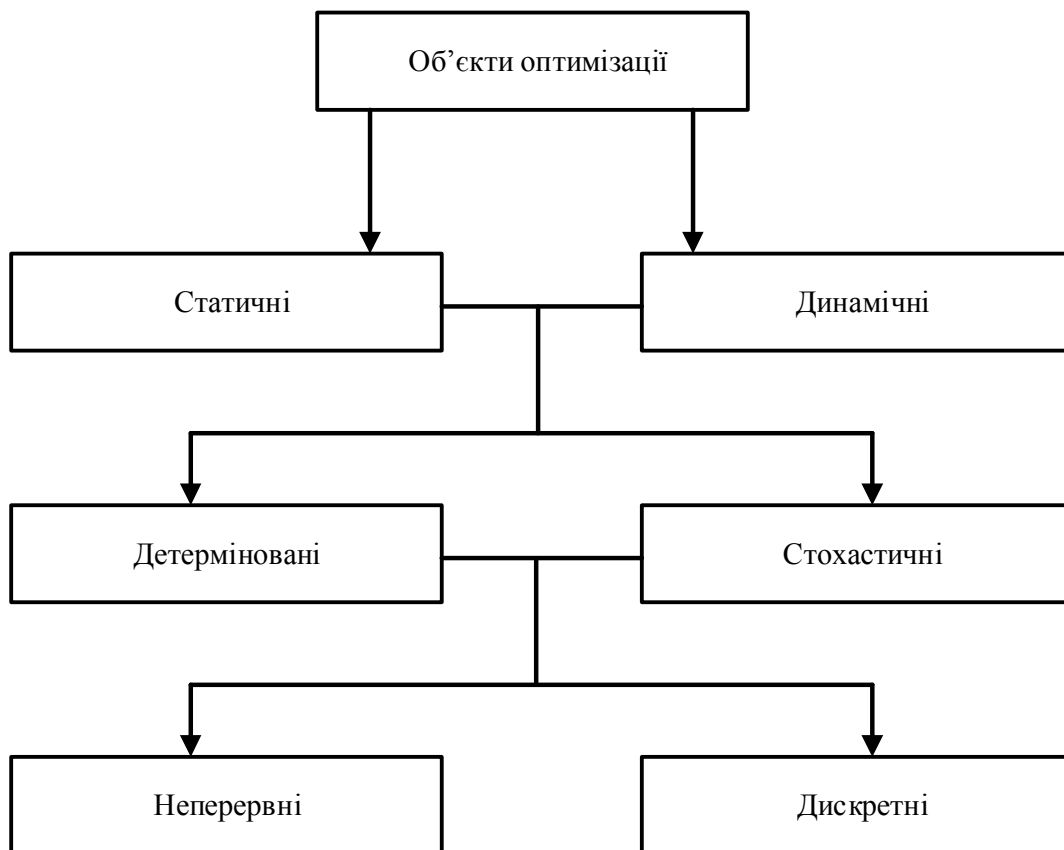


Рис. 2. Класифікація об'єктів оптимізації

Об'єкти оптимізації можуть бути детермінованими або ймовірнісними, дискретними або неперервними. В якості прикладу неперервного об'єкта оптимізації можна привести процес передачі та прийому аналогового телевізійного сигналу. Прикладом дискретного об'єкта оптимізації може слугувати процес передачі та прийому цифрової інформації.

Постає питання вибору кращих методів оптимізації для вирішення кожної конкретної задачі.

Класифікація методів оптимізації може бути проведена наступним чином:

- засновані на застосуванні класичних математичних методів;
- засновані на застосуванні динамічного програмування;
- засновані на застосуванні лінійного та нелінійного дискретного програмування;
- засновані на застосуванні принципу максимуму;
- засновані на градієнтних методах;

- методи оптимізації графів та граф-мереж;
- спеціальні методи оптимізації;
- методи оптимізації в умовах невизначеності.

Вибір класу методів оптимізації для вирішення кожної конкретної задачі залежить в основному від наступних факторів:

- від належності об'єкта оптимізації до того чи іншого класу;
- від способу задання критерія оптимізації;
- від складності реалізації моделі об'єкта.

Проте, слід зазначити, що вибір методу оптимізації є досить суб'єктивним.

Адаптивна передача, яка потребує точного оцінювання характеристик каналів у приймачі й надійного зворотного зв'язку між приймачем і передавачем, вперше була запропонована наприкінці 60-х років ХХ сторіччя [2]. Інтерес до даної теми був короткочасним, в основному через апаратні обмеження й відсутність якісних методів оцінки каналів та систем, орієнтованих на двоточкові радіолінії без зворотного зв'язку до передавача. Ці проблеми мають менший вплив у сучасних системах, у поєднанні зі значним попитом на спектрально-ефективний зв'язок. У свою чергу це підвищило інтерес до методів адаптивної модуляції. Основною ідеєю адаптивної передачі є підтримка постійного значення відношення сигнал/завада шляхом зміни рівня потужності [2], швидкості передачі символів [3], розміру решітки [4-6], швидкості та схеми кодування [7] або будь-якої комбінації цих параметрів [8-10]. Таким чином, без збільшення ймовірності помилки, ці схеми забезпечують досить високу середню спектральну ефективність в сприятливих умовах каналу і зниження пропускну здатності при погіршенні каналу. Адаптивні методи також використовуються для високошвидкісних модемів [11, 12], супутникових каналів [13-15] і для мінімізації спотворень або задоволення вимог до якості обслуговування (QoS) в бездротових застосуваннях [16, 17].

В роботі [18] представлений адаптивний алгоритм оптимізації значення відношення сигнал/завада, модуляції та кодових конструкцій при сталій швидкості кодування завадостійкого коду для систем 3GPP LTE. В залежності від значень функцій відображення з довідкової таблиці, отриманої в результаті моделювання, вибираються параметри модуляції, кодових конструкцій та значення сигнал/завада. При цьому розглядаються канали з білим гаусівським шумом.

В роботі [19] представлений алгоритм адаптації швидкості кодування завадостійкого коду для Wi-Fi технологій. Алгоритм базується на оцінці мінімальної відстані між найближчими точками решітки. В залежності від значення змінюється швидкість кодування та регулюється мінімальна відстань між точками.

В роботі [20] представлений алгоритм адаптації швидкості кодування та модуляції для мобільних систем зв'язку. В залежності від значення відношення сигнал/завада змінюється швидкість кодування та модуляція. При цьому також розглядаються канали з білим гаусівським шумом.

Найбільш поширеними методами для адаптації є градієнтні методи. Ці методи ефективні в поєднанні з завадостійким кодуванням. Методами пошуку називають методи знаходження оптимального значення довільної функції Q , відносно якої ми не маємо повних даних. Якщо функція Q , яку ми оптимізуємо відома не повністю або її вид невідомий зовсім та є можливість лише обчислити або виміряти значення функції в окремих точках, то процес знаходження її оптимального значення пов'язаний з експериментом, оскільки лише з його допомогою можна отримати більш конкретні дані про неї. Такого роду функції зустрічаються і в теоретичних дослідженнях, коли математичний вираз функції критерію оптимізації є досить складним і розрахунок її значень можливий лише за допомогою використання потужних процесорів [21].

Таким чином, під задачею пошуку будемо розуміти знаходження оптимального значення невідомих функції $Q(x_1, \dots, x_n)$ або таких значень змінних x_1^*, \dots, x_n^* , які відповідають оптимальному значенню функції $Q^* = Q(x_1^*, \dots, x_n^*)$. При цьому аналітична залежність між функцією критерія та змінними керування x_i ($i = \overline{1, n}$) або невідома, або дуже складна.

Під градієнтними методами оптимізації розуміють такі методи, в яких напрямок руху до точки екстремуму функції критерія Q визначається з точністю до знака напрямом градієнта цієї функції.

Градієнтні методи оптимізації полягають в побудові мінімізованої послідовності X^0, X^1, \dots, X^r за формулою:

$$X^{r+1} = X^r - \alpha \nabla(X^r)$$

де $\nabla(X) \in G$ - градієнт функції $Q(X)$ в точці X .

Задачі нелінійного програмування, які вирішуються методами пошуку, можна класифікувати по числу незалежних змінних $x_i \in X$, як одномірні ($i = 1$) та багатомірні ($i = \overline{1, n}; n \geq 2$).

До одномірних задач оптимізації відносяться такі методи: метод “золотого перерізу”, метод дихотомії тощо. Градієнтні методи пошуку дозволяють створювати процедури пошуку як для одномірних так і для багатомірних задач оптимізації.

Основною властивістю задач, які вирішуються градієнтними методами пошуку є наявність обмежуючих умов. Задача при цьому формулюється наступним чином: нехай система, що оптимізується характеризується деякою залежністю між вихідною величиною Q та вхідними змінними $Q = Q(x_1, \dots, x_n)$, причому вид функції Q може бути заздалегідь невідомим. Потрібно знайти таку сукупність змінних $x_i, i = \overline{1, n}$, для котрої величина Q мінімальна, а допустимі значення змінних x_i , задовольняють систему нерівностей $H_j(x_1, \dots, x_n) \leq 0, (j = \overline{1, m})$.

Градієнтні методи пошуку більшою частиною є ітераційними, тобто будується послідовність наближень X_0, X_1, \dots , що сходяться до точки $\min Q$.

Ітераційні методи називаються p -кроковими, якщо при побудові чергової ітерації використовуються результати p -попередніх. Більшість відомих методів є однокроковими, хоча зустрічаються нулькрокові, двокрокові і т.д.

Однокроковими градієнтними методами називають методи, в яких на кожному кроці для визначення напряму пошуку використовується тільки градієнт функції Q . Прикладами однокрокових методів є метод градієнта та метод найшвидшого спуску.

В деяких методах використовується лише значення функції Q , але не її похідних. Це нулькрокові методи.

Якщо є декілька екстремумів, то в цьому випадку необхідно приймати спеціальні заходи для надійного виявлення не локального, а глобального екстремуму [22, 23].

На сучасному етапі вивчається можливість застосування нейронних мереж для вирішення задач оптимізації кодових конструкцій. Використання штучного інтелекту дозволить проводити більш глибокий аналіз бездротових каналів зв'язку та завод, які в них виникають, виявляти закономірності їх виникнення та перебігу, завчасно пристосовувати до них параметри кодових конструкцій.

Висновки

Проведений огляд свідчить, що перед розробниками стоїть задача постійного підвищення ефективності бездротових систем передачі даних в умовах апіорної невизначеності. На сучасному етапі вона вирішується через забезпечення достовірності інформації за рахунок створення інформаційних технологій і методів, що використовують багаторівневу параметричну адаптацію кодових конструкцій. Сьогодні, звертаючи увагу на стрімкий розвиток технологій штучного інтелекту, вбачається можливим проведення оптимізації кодових конструкцій для каналів зв'язку різної якості з використанням нейронних мереж. Це дозволить оптимально підбирати й застосовувати більш «контрастні» кодові конструкції на фоні шумової картини, що постійно змінюється. Робота в даному напрямку триває.

Список літератури

1. Пашнеев С.Д., Минязов Р.И., Могилевский В.Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. М.: Связь, 1976. 6 с.
2. Hayes J.F. Adaptive feedback communications. *IEEE Transactions on Communication Technology*. 1968. Vol. 16. P. 29 – 34.
3. Cavers J.K. Variable-rate transmission for Rayleigh fading channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1972. Vol. 20. P. 12 – 22.
4. Otsuki S., Sampei S., Morinaga N. Square-QAM adaptive modulation/TDMA/TDD systems using modulation level estimation with Walsh function. *Electronics Letters*. 1995. Vol. 31. P. 169 – 171.
5. Webb W. T., Steele R. Variable rate QAM for mobile radio. *IEEE Transactions on Communications*. 1995. Vol. 43. P. 2223 – 2230.
6. Kamio Y., Sampei S., Sasaoka H., Morinaga N. Performance of modulation-level-controlled adaptive-modulation under limited transmission delay time for land mobile communications. *Proceedings of the IEEE VTC'95*. 1995. P. 221 – 225.
7. Vucetic B. An adaptive coding scheme for time-varying channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1991. Vol. 39. P. 653 – 663.
8. Alamouti S.M. Adaptive trellis-coded multiple-phased-shift keying for Rayleigh fading channels. *IEEE Transactions on Communications*. 1994. Vol. 42. P. 2305 – 2314.
9. Ue T. Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation TDMA/TDD for personal communication systems. *Proceedings of the IEEE VTC'95*. 1995. P. 306 – 310.
10. Matsuoka H. Symbol rate and modulation level controlled adaptive modulation/TDMA/TDD for personal communication systems. *Proceedings of the IEEE VTC'96*. 1996. P. 487 – 491.
11. Bingham J.A.C. Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come. *IEEE Comm. Mag.* 1990. Vol. 28. P. 5 – 14.
12. Chow P.S., Cioffi J.M., Bingham John A.C. A practical discrete multitone transceiver loading algorithm for data transmission over spectrally shaped channels. *IEEE Trans. Commun.* 1995. Vol. 43. P. 773 – 775.
13. Filip M., Vilar E. Optimum utilization of the channel capacity of a satellite link in the presence of amplitude scintillations and rain attenuation. *IEEE Trans. Commun.* 1990. Vol. 38. P. 1958 – 1965.

14. Monk A.M., Milstein L.B. Open-loop power control error in a land mobile satellite system. *IEEE J. Select. Areas. Commun.* 1995. P. 205 – 212.
15. Rose J.L. Satellite communications in the 30/20 GHz band. *Satellite Communications*. 1985. P. 155 – 162.
16. Cox R.V., Hagenauer J., Seshadri N., Sundberg C.-E.W. Subband speech coding and matched convolutional channel coding for mobile radio channels. *IEEE Trans. Signal Proces.* 1991. Vol. 39. P. 1717 – 1731.
17. Yun L.C., Messerschmitt D.G. Variable Quality of Service in CDMA systems by statistical power control. *IEEE Intl. Commun. Conf. Rec.* 1995. P. 713 – 719.
18. Goldsmith A.J., Chua S.G. Adaptive Coded Modulation for Fading Channels. *IEEE Transactions on Commun.* 1998. Vol. 46. P. 595 – 602.
19. Chung S.T., Goldsmith A.J. Degrees of Freedom in Adaptive Modulation: A Unified View. *IEEE Transactions on Commun.* 2001. Vol. 49. P. 1561 – 1571.
20. Gho G.H., Kahn J.M. Rate-Adaptive Modulation and Coding for Optical Fiber Transmission Systems. *Journal of Light Wave Technology*. 2012. Vol. 30. P. 1818 – 1828.
21. Пашнеев С.Д., Минязов Р.И., Могилевский В.Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. М.: Связь, 1976. С. 183 – 199.
22. Василенко В.М. Метод параметрической адаптации в условиях неопределенности. *Математичні машини і системи*, 2018. № 3. С. 76 – 88.
23. Зайцев С.В. Методи та моделі забезпечення сталої достовірності інформації у безпроводових системах передачі даних: дис. ... д-ра техн. наук. Чернігів, 2016. 397 с.

**OVERVIEW OF ADAPTIVE METHODS FOR ENSURING THE RELIABILITY
OF THE TRANSMISSION OF INFORMATION WHEN USING
INSTALLATION-FREE CODING IN WIRELESS SYSTEMS**

S.V. Zaitsev, V.M. Vasilenko, S.M. Semendiai

National Chernihiv Polytechnic University 95, Shevchenko Street,
Chernihiv, 14035, Ukraine. E-mail: serhii_semendiai@icloud.com

Analysis of the current state and development of wireless communication systems, such as first generation 1G, second generation 2G, third generation 3G, fourth generation 4G LTE-Advanced, fifth generation 5G, Wi-Max and Wi-Fi, shows the need application of information technologies that allow efficient data transmission in real time. In such systems, ensuring a given level of reliability of information transmission is carried out through the use of information technology adaptation and coding. With increasing noise levels, existing methods of ensuring the reliability of information based on correction codes do not provide the specified indicators of the efficiency of information transmission. With restrictions on code parameters, in systems with adaptation, in the case of increasing noise levels to a certain value, ensuring the specified characteristics of the reliability of information becomes impossible. Therefore, the question arises of the use of turbo codes and their multilevel parametric adaptation. In the case of reverse data decoding, there is a need for a priori information on the plausibility functions of the received data, taking into account the procedure of decoding algorithms based on probabilistic decoding, namely for turbo codes. It is possible to form estimates of uncertainty of information during decoding, to minimize these estimates by choosing the rules of decision using the methods of parametric adaptation and to ensure the reliability of information transfer.

Keywords: reliability, error-correcting coding, wireless communication, optimization methods.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОСОБИ У ВІДЕОПОТОЦІ МЕТОДАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

І.С. Кунак, І.М. Шпінарева, В.Г. Пенко

Одеський національний університет імені І. І. Мечнікова, вул.Дворянська,2, м.Одеса, Україна,
e-mail: kunak19999@gmail.com, iryna.shpinareva@onu.edu.ua, vpenko@onu.edu.ua

Ідентифікація особи у відеопотоці в режимі реального часу є критично важливою функцією в широкому спектрі актуальних предметних областей. З іншого боку, таке завдання є складним і може бути ефективно вирішене лише за допомогою сучасних підходів штучного інтелекту. У цій роботі в якості ключового алгоритму розпізнавання та векторизації зображення обличчя використовується апробований раніше підхід МТСNN, який використовує каскад з декількох нейромереж для виявлення ключових точок обличчя ідентифікації особи. Крім основного алгоритму, була реалізована інтегрована система, що забезпечує функціональність ідентифікації особи, доступної кінцевому користувачеві. Додатково реалізовані модуль ідентифікації осіб на основі векторів, що представляють особистість у відеокадрі, підсистема зберігання та поповнення бази даних осіб, які розпізнаються, і зручний інтерфейс користувача. Модифікації архітектури МТСNN, запропоновані в даній роботі, дозволили досягти продуктивності, що забезпечує режим реального часу та прийнятну якість ідентифікації на рівні 0.92 за F1-метрикою.

Ключові слова: ідентифікація особистості, ключові точки обличчя, каскадні згорткові нейромережі.

Вступ

Останнім часом в різних сферах діяльності зростає потреба швидкої та правильної ідентифікації особистості людини у відеопотоці, особливо в режимі реального часу. Практичне застосування системи розпізнавання осіб є вкрай важливим або критично необхідним в безлічі сфер:

1) комерція (запобігання магазинних крадіжок і організованої злочинності, підрахунок кількості відвідувачів, персоналізація клієнтського досвіду, каси самообслуговування);

2) банківська сфера та блокчейн системи (імплементаций методу Know Your Customer, біометричні банкомати, боротьба з шахрайством і мінімізація ризиків);

3) охорона порядку в містах та безпека державних кордонів (системи біометричної ідентифікації (ABIS) для пошуку злочинців, докази злочинів та їх запобігання, наприклад терактів або шахрайства з документами, прикордонний і митний контроль);

4) інші системи розпізнавання осіб (біометричний облік робочого часу, контроль доступу у лікарнях та будинках для людей похилого віку, авторизація відвідувачів).

Пандемія COVID стала катализатором швидкого розповсюдження рішення, коли сотні муніципалітетів у всьому світі встановили камери, які оснащені технологією розпізнавання облич. Минулого року у Китаї понад 100 міст було обладнано системами спостереження на основі технології розпізнавання осіб. Використання загальноміської системи відеоспостереження під час карантину у зв'язку з COVID дозволило виявити порушників карантину [1].

У березні 2021 року аналітична компанія Mordor Intelligence представила звіт [2], в якому світовий ринок розпізнавання осіб оцінювався в 3,72 млрд. доларів США в 2020 році і перевищить 11,62 млрд. доларів США в 2026 році.

Ці та багато інших фактів дозволяють констатувати, що ідентифікація особи на основі її візуального представлення є важливим випадком більш загального напрямку розпізнавання візуальних образів, який в свою чергу є предметною областю для застосування сучасних методів дослідження що належать до категорії методів штучного інтелекту та машинного навчання.

Важливою запорукою успішності розробки у цьому напрямі є визначення контексту та характерних обмежень задачі. У даній роботі маються на увазі наступні особливості: 1) вхідною інформацією є відеопотік, якість якого забезпечується стандартною технікою відео фіксації; 2) ідентифікація здійснюється на основі аналізу обличчя особи; 3) необхідно забезпечити оперативну ідентифікацію.

Незважаючи на актуальність, значну кількість сфер застосування та величезну кількість досліджень в аналогічних обставинах, проблема якісного і швидкого розпізнавання осіб в відеопотоці все ще залишається не повністю вирішеною.

Огляд літератури

Задачу пошуку обличчя на зображенні на сьогоднішній день успішно вирішено та існують практичні реалізації та застосування у багатьох технічних пристроях. Задачі автоматизованого ідентифікації осіб на основі аналізу обличчя у відеопотоці є більш складними, і на даний момент існуючі алгоритми наближаються до точності розпізнавання людини тільки в ідеалізованих умовах, або вимагають обчислювальні ресурси, недоступні при обробці відеопотоку в режимі реального часу.

Достатньо велика кількість досліджень з вирішення представленої задачі дозволяє сформулювати доволі сталу декомпозицію задачі ідентифікації особи у відеопотоці на кілька наступних етапів:

- 1) пошук області обличчя на зображенні;
- 2) спостереження за положенням виявленої особи на послідовності кадрів;
- 3) попереднє оброблення зображення особи з метою компенсації умов зйомки;
- 4) порівняння зображення обличчя із зображеннями в базі зображень.

У роботі [3] представлено методи розробки ідентифікації особи у відеопотоці. Запропонований алгоритм базується на анізотропній дифузії як методі попередньої обробки зображення, вейвлет-перетворенні Габора як методі обробки зображень, гістограмі орієнтованих градієнтів (HOG) та локальних бінарних моделях в одновимірному просторі (1DLBP) як методах вилучення вектора ознак із зображення, квадратна метрика евклідової відстані для векторної класифікації. Результати експерименту на базі даних облич і бази даних FERET дають від 70 до 72,5% правильно ідентифікованих зображень. Можна зробити висновок, що даний метод не є ефективним, оскільки точність ідентифікації досить низька.

Задачі ідентифікації людини по обличчю переважно вирішуються з використанням нейромережових моделей розпізнавання. Як класифікатори розглядаються в основному п'ять архітектур нейронних мереж: тривимірна згорткова нейронна мережа, згортково-рекурентні мережі, такі як однонаправлений і двонаправлений LSTM, однонаправлений і двонаправлений GRU у поєднанні з згортковою нейронною мережею архітектури ResNet, використовуваної в цих отримання візуальних ознак.

Великі компанії активно розвивають ринок аналізу даних, найчастіше спираючись на такі моделі, класифікації як One vs One (Face ID) та One vs All [4].

Представлена в роботі модель займає перспективну нішу роботи з невеликими групами осіб, що детектуються та ідентифікуються, тобто вона націлена на вирішення задачі one vs all в умовах недостатності даних, характерної для моделі one vs one.

Мета та задачі дослідження

Метою роботи є розробка інтегрованої системи ідентифікації облич шляхом використання перспективних та вже запропонованих в дослідженнях алгоритмів та моделей з можливістю покращення ефективності розпізнавання та ідентифікації людини в відеопотоці шляхом модифікації використаних алгоритмів.

Під підвищенням ефективності розуміється поліпшення наступних характеристик: зниження відсотка неправильних виявлень, збільшення швидкодії, тобто зменшення часу виявлення. Основою алгоритму є згорткові нейронні мережі Multi-task Cascaded Convolutional Network (MTCNN) [5], які протягом останніх років показали себе як найкращі засоби для класифікації об'єктів (в даному випадку обличчя).

Виходячи з такої мети було спроектовано послідовність задач:

- 1) дослідити метод MTCNN для розпізнавання обличчя в відеопотоці;
- 2) обрати гіперпараметри CNN та вибірку навчання;
- 3) реалізувати попередню обробку кадрів для їх використання в CNN;
- 4) реалізувати систему розпізнавання обличчя в відеопотоці та ідентифікації людини.
- 5) провести тестування CNN та розробленої системи в цілому.

Метод розпізнавання обличчя

В даному контексті під розпізнаванням розуміємо виявлення в відеокадрі обличчя та перетворення його у характерний вектор ознак. У роботі розглядається відеопотік формату MP-4. Кожен п'ятнадцятий кадр проходить обробку і виконується ідентифікація всіх осіб на кадрі.

Кадр спочатку проходить створення піраміди масштабування зображення (масив масштабів від більшого до меншого). Далі виконується перетворення BGR формату кадру в RGB та нормалізація значень для використання в нейромережі MTCNN (під нормалізацією тут мається на увазі перетворення відеоданих з діапазону 0...255 в діапазон -1.0...1.0).

Попередньо оброблений відеокадр надходить на вхід мережі MTCNN. На виході отримуємо нормалізоване зображення обличчя розміром 182x182 пікселів. MTCNN – це багатозадачна згорткова нейронна мережа, яка шляхом послідовного розв'язання кількох задач та використанні більш потужної згорткової нейронної мережі підвищує точність детектування особи на основі п'яти лицьових точок. Варто відзначити, що важливою частиною роботи є налаштування розміру вихідних шарів та функції активації. Для нейромережевої архітектури MTCNN було зменшено кількість нейронів вихідних шарів. У наслідок чого, перша і друга нейронні мережі не визначають ключові точки на відміну від MTCNN, а лише визначають обмежуючі прямокутники обличчя та класифікують обличчя. Використовується функція активації PReLU, замість звичайної ReLU.

Робота багатозадачної згорткової нейронної мережі розбита на кілька етапів. На першому етапі використовується повна згорткова мережа Proposal Network. В результаті її роботи розраховуються всі можливі варіанти зображень обличчя (пропозиції), що їх обмежує прямокутник регресії векторів. Потім пропозиції калібруються на основі оцінних векторів регресії обмежуючого вікна. Далі використовується метод NonMaximum Suppression (NMS), який об'єднує пропозиції, що сильно перекриваються.

На другому етапі всі пропозиції відправляються в мережу Re-fine Network (R-Net), яка додатково відхиляє більшість помилкових пропозицій та виконує калібрування з повторним стиском обмежуючого вікна і проводить NMS.

На третьому етапі дії аналогічні до другого етапу, але використовується велика область обличчя. В результаті мережа виведе п'ять лицьових точок.

Для MTCNN обрана переднавчена модель, яка була навчена на навчальній вибірці «VGGFace2» для пошуку обличчя на зображеннях [6]. Набір даних VGGFace2 складається з приблизно 3,31 мільйона зображень.

Метод ідентифікації особи

Після того, як на кадрі виявлено обличчя, далі необхідно виконати ідентифікацію особи. Метод ідентифікації складається з трьох етапів.

Перший етап – вирівнювання. Використовуючи отримані ключові точки, а саме точки очей, виконується вирівнювання шляхом побудови прямокутного трикутника, точки і відстань між очима являється гіпотенузою, висота пускається з найвищої по осі у точки. А далі за відношеннями сторін знаходиться кут між основою та гіпотенузою і таким чином визначається кут нахилу голови в горизонтальній площині. Після визначення кута нахилу виконується вирівнювання (поворот) зображення.

Другий етап – обчислення вектору ознак. Отримане вирівняне зображення обличчя додатково обробляється (так само як в каскаді CNN блоку пошуку обличчя) та відправляється на вхід згорткової нейромережі, яка перетворює зображення в вектор ознак обличчя. Для цього перетворення використовується вже навчена модель FaceNet-512, побудована на архітектурі Inception ResNet-v1 [7]. На виході FaceNet-512 видає вектор ознак обличчя з 512 чисел.

Третій етап – пошук найближчих векторів в БД (найбільш схожих облич) використовуючи метод k-найближчих сусідів. Дистанція між векторами обчислюється евклідовою відстанню.

Для CNN, що створює вектор ознак з обличчя, була обрана переднавчена модель 20180408-102900 [8]. Для навчання та тестування моделі було використано набір даних CASIA-WebFace [9]. Цей навчальний набір складається з 453 453 зображень із 10 575 унікальними особами для ідентифікації.

Система ідентифікації осіб

Представлені вище алгоритми були імплементовані у вигляді інтегрованої системи для ідентифікації людини в відеопотоці в режимі реального часу, наприклад для працівників служби поліції чи охорони. Для роботи працівника (клієнта) з системою ідентифікації розроблено програмний інтерфейс, який представляє собою web-додаток. У технологічну основу системи покладена клієнт-серверна технологія обробки даних, за якої клієнт-комп'ютер звертається за необхідними даними до головного комп'ютера (сервера), при цьому власна обробка даних може виконуватися як на клієнтському, так і серверному комп'ютері. В якості архітектури покладена трірівнева клієнт-серверна архітектура, що передбачає наявність наступних компонентів програми: клієнтський застосунок (зазвичай говорять «тонкий клієнт» або термінал), підключений до сервера застосунків, який в свою чергу підключений до серверу бази даних.

Взаємодія клієнта з веб-додатком здійснюється через графічний інтерфейс в якому розроблено наступний функціонал:

- 1) авторизація для доступу до власного кабінету та власної бази осіб;
- 2) додавання осіб в базу шляхом додавання фото (на якому каскад CNN знаходить обличчя, і CNN знаходить вектор обличчя для занесення в БД);
- 3) завантаження відео для здійснення пошуку та ідентифікації особистостей в ньому (знайдені особи записуються в історію для даного відео, а не ідентифіковані особи додаються в загальний список не знайдених обличчя по даному відео);
- 4) перегляд інформації про осіб доданих в БД;
- 5) перегляд детальної інформації про особу;
- 6) перегляд історії знаходжень.

Для забезпечення безпеки даної системи вхід до системи виконується через логін та пароль.

Загальна архітектура роботи системи розпізнання та ідентифікації людини в відеопотоці mp4 представлена на рис. 1. Подальші приклади відеопотоку для аналізу взяті з англомовного серіалу про Шерлока Холмса та особи (актори) позначені їх оригінальними англійськими іменами. Веб-інтерфейс застосунків, також розроблено

англійською мовою. Важливими з точки зору алгоритмів ідентифікації є модуль розпізнавання обличчя в кадрі та модуль ідентифікації людини.

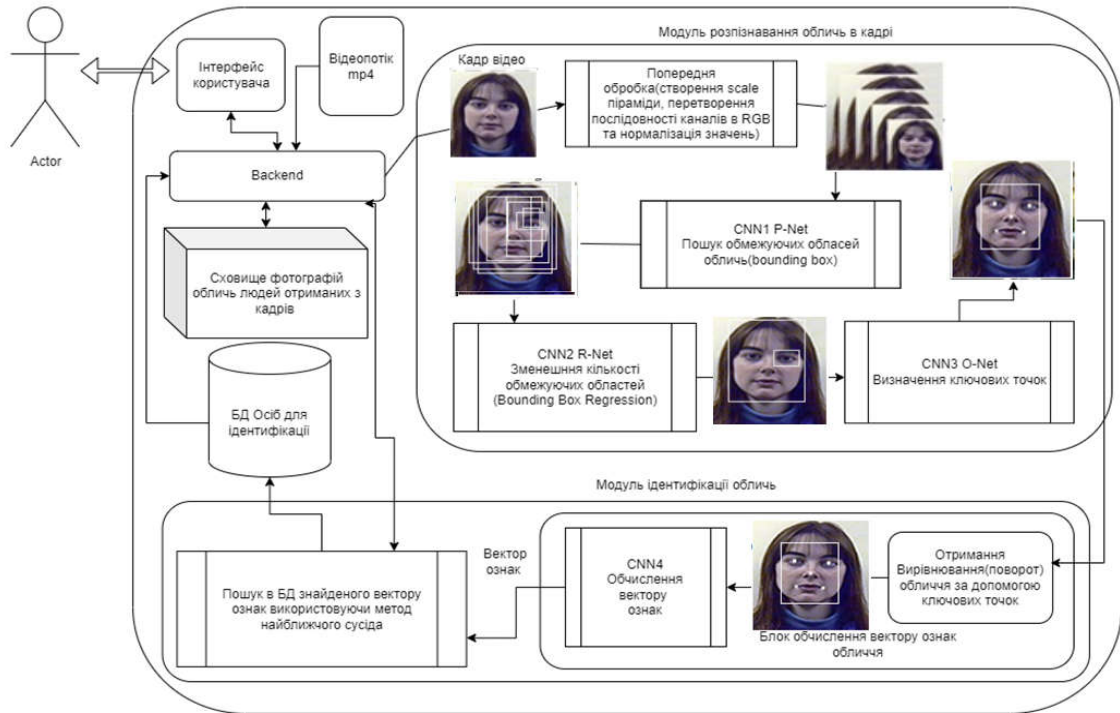


Рис. 1. Схема роботи системи

Для створення веб-додатку та CNN була вибрана мова Python та фреймворк Tensorflow разом з API Keras, так як вони містять повний набір функцій і методів потрібних для створення і навчання CNN. На рис. 2 та 3 представлено результат роботи системи розпізнавання та ідентифікації осіб.

Video Processing Web App Persons NFFaces RealTime Video Upload Video About Login Register

Select a video to upload and play

Sources List

Id	Name	Created time	Path	Load	Process
Id 1	Friends_FunnyParts.mp4	2021-11-06 18:56:27.510092	\uploads\Friends_FunnyParts.mp4	Load	Process
Id 2	Sherlock_1.mp4	2021-11-10 23:18:08.550028	\uploads\Sherlock_1.mp4	Load	Process
Id 3	Sherlock_2.mp4	2021-11-11 00:00:20.153073		Load	Process

Live Streaming

Founded Persons List

Id	Name	Distance	Db_id
Id 0	Loo Brealey	0	14
Id 0	Loo Brealey	0.3927670419216156	14
Id 0	Loo Brealey	0.3927670419216156	14
Id 0	Benedict Cumberbatch	0.4768138825893402	11
Id 0	Benedict Cumberbatch		11

Not found Faces List

Id	Create Time	Confidence	Mouth left	Mouth right	Left eye	Right eye	Nose
Id 0	96	0.8263257145881653	343,158	undefined	347,131	367,135	359,147
Id 0	144	0.9638354778289795	210,147	undefined	206,118	231,117	222,132
Id 0	168	0.9778928160667419	213,136	undefined	212,106	237,107	231,122

Рис. 2. Результат роботи системи розпізнавання та ідентифікації осіб

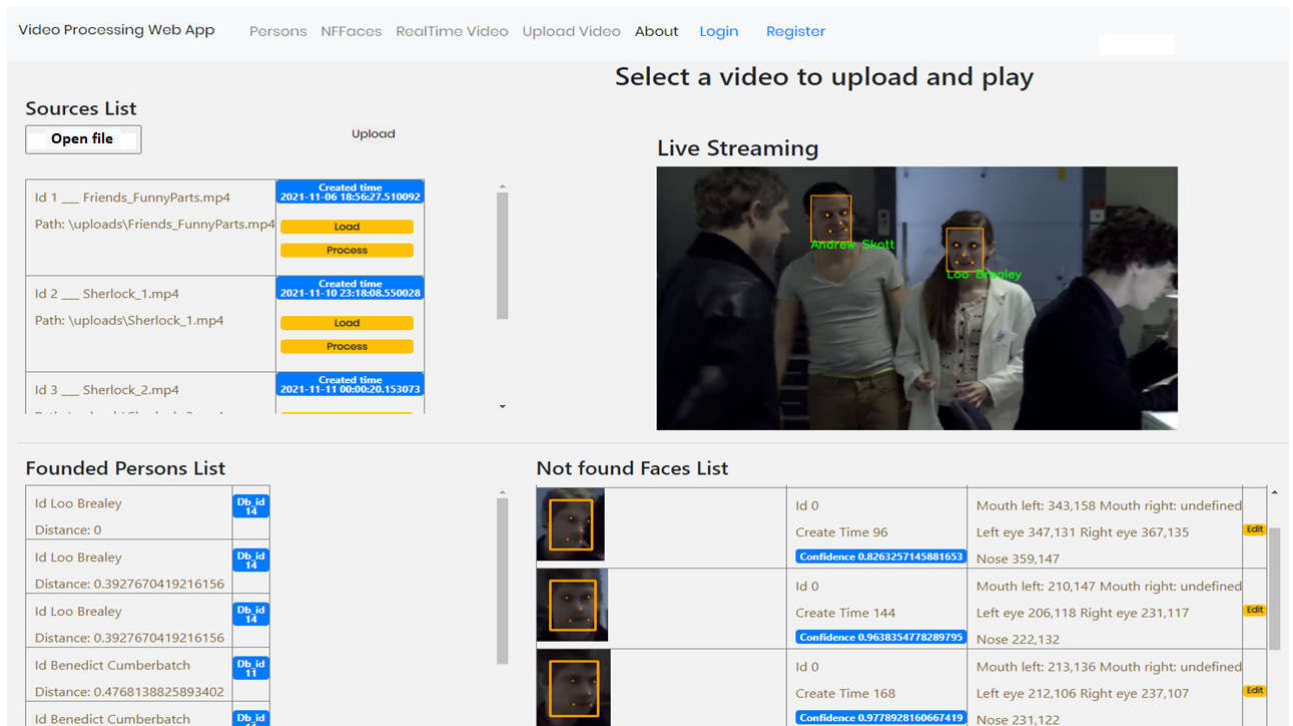


Рис. 3. Ідентифікована особа

Тестування системи

Метою тестування системи було виявлення ефективності розпізнавання обличчя та швидкості розпізнавання та ідентифікації особи.

Для тестування на точність обраний датасет Fddb – це набір даних про області обличчя, розроблений для вивчення проблеми безобмеженого виявлення обличчя [10]. Цей набір даних містить анотації для 5171 обличчя в наборі з 2845 зображеннями, взятими з набору даних Faces in the Wild. В якості метрик визначення точності розпізнавання було взято F1-Score. Оцінка F1-Score, також відома як збалансована оцінка F-міра. Оцінку F1-Score можна інтерпретувати як середнє гармонійне значення точності та запам'ятовування, де оцінка F1-Score досягає свого найкращого значення при 1, а найгіршого – при 0. У випадку з кількома класами та кількома мітками це середнє значення F1 кожного класу із зважуванням залежно від середнього параметра. Загалом коливання в збалансованій оцінці майже не значні і згідно з результатами знаходяться біля 92%.

Тестування швидкості роботи системи. В якості об'єкту тестування модуля розпізнавання обличчя на кадрах вибраний відео-уринок з відомого серіалу про Шерлока Холмса.

Інформація про відео:

- тривалість: 6.23 хв.;
- якість відео: 1280*720;
- загальна кількість кадрів: 9204;
- кількість фреймів на секунду(fps): 30.

Тестування на швидкість проводилось за двох наборів параметрів роботи модуля розпізнавання.

Перший набір це: мінімальний розмір обличчя: 30*30 px, фактор масштабування: 0.709 (впливає на швидкість сходження до мінімального масштабу та відповідно на кількість масштабованих зображень) та поріг допустимих значень 0.8.

Запропонована система була протестована та отримана статистика в порівнянні з схожим стандартним каскадом нейромереж MTCNN (таблиця 1).

Таблиця 1

Порівняння характеристик першого тестування

	Реалізований MTCNN з модифікаціями	Стандартний MTCNN	Різниця
Середній час обробки кадру(сек)	0.6207947	0.6174478	+0.542%
Середній час обробки кадру з обличчями(сек)	0.6373271	0.6340739	+0.513%
Середній час обробки кадру без обличь(сек)	0.58191427	0.5816137	+0.0516%

Другий набір це: мінімальний розмір обличчя: 30*30 px, фактор масштабування: 0.6 (впливає на швидкість сходження до мінімального масштабу та відповідно на кількість масштабованих зображень) та поріг допустимих значень 0.8. Порівняльна характеристика також в співставленні зі стандартною MTCNN наведена в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння характеристик другого тестування.

	Реалізований MTCNN з модифікаціями	Стандартний MTCNN	Різниця
Середній час обробки кадру(сек)	0.42758628	0.4602320	-7.093%
Середній час обробки кадру з обличчями(сек)	0.4587248	0.4757354	-3.5756%
Середній час обробки кадру без обличь(сек)	0.4100261	0.43184338	-5.052%

Перевірка точності розпізнавання та ідентифікації осіб залежить від якості кадру. Якщо зображення зроблені з хорошими умовами для розпізнавання (достатньо якісне зображення області обличчя), то якість ідентифікації осіб є 92% (рис. 4)

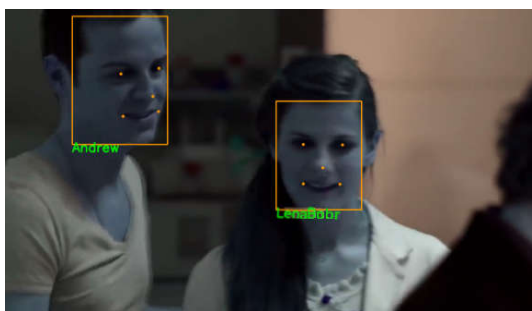


Рис. 4. Приклад зображення з хорошими умовами для розпізнавання

Якщо великий кут повороту обличчя, та погана якість області обличчя (розмиття в русі) то точність ідентифікації низька (рис.5).



Рис. 5. Приклад зображення з поганими умовами для розпізнавання.

Висновки

У роботі запропоновано інтегровану систему, яка виконує ідентифікацію особи, що з'являється у відеопотоці. Основні алгоритми, що використовуються в процесі функціонування системи достатньо відомі та верифіковані. Зокрема, для пошуку та формування характерного векторного представлення обличчя було використано каскад згорткових нейронних мереж МТСNN, а для ідентифікації людини по вектору представлення обличчя – метод k-найближчих сусідів. Після знаходження у кадрі нейронною мережею МТСNN ключових точок обличчя за допомогою CNN обчислюється вектор ознак. Для ідентифікації особи використовується метод k-найближчих сусідів, який шляхом обчислення відстані між шуканим і відомими векторами знаходить найближчий ідентифікатор людини. Порівняно зі стандартною реалізацією МТСNN в запропонованій системі було запроваджено декілька модифікацій (використано функції активації PReLU, замість звичайного ReLU та зменшено кількість вихідних нейронів у мережах CNN). В результаті нейронні мережі Proposal Network, R-Net в роботі лише визначають обмежуючі прямокутники обличчя, а не визначають ключові точки на відміну від МТСNN. Запропоновані модифікації дозволили збільшити швидкість розпізнавання осіб за для забезпечення оперативності ідентифікації особи. Якість розпізнавання та ідентифікації осіб залежить від якості кадру та орієнтації обличчя особи. Якщо зображення з хорошими умовами для розпізнавання (достатньо якісне зображення області обличчя), то якість ідентифікації осіб є 92%. Таким чином, запроваджену систему можна розглядати в якості прототипу прикладної системи для кінцевого користувача. Потенціал використаних алгоритмів дозволяє поліпшити показники функціонування завдяки пошуку більш ефективної комбінації гіперпараметрів.

Список літератури

1. Thompson B., Van Noord R. *The troubling rise of facial recognition technology*. *Nature*. November 18, 2020. URL: <https://www.nature.com/articles/d41586-020-03271-8>.
2. Facial recognition market - growth, trends, Covid-19 impact, and forecasts (2021 - 2026). *Mordor Intelligence*. March 2021. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/facialrecognition-market>.
3. Bychkov O., Merkulova K., Zhabska Y., Shatyro A.. Development of Information Technology for Person Identification in Video Stream. *II International Scientific Symposium «Intelligent Solutions» IntSol-2021*. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3018/Paper7.pdf>
4. Pawara P., Okafor E., Groefsema M. H., Lambert S., Schomaker R.B, Wiering M.A. One-vs-One classification for deep neural networks. *Pattern Recognition*. 2020. V.108, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2020.107528>
5. Zhang K., Zhang Z., Li Z., Qiao Y. Joint Face Detection and Alignment using Multi-task Cascaded Convolutional Networks. *IEEE Signal Processing Letters (SPL)*. 2016. V. 23, No. 10. P.1499–1503.
6. VGGFace2. URL: <https://paperswithcode.com/dataset/vggface2-1>
7. Schroff F., Kalenichenko D., Philbin J. FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering. *Computer Vision and Pattern Recognition*. 2015. DOI: 10.1109/CVPR.2015.7298682
8. Facenet-20180408-102900. Use Case and High-Level Description. URL: https://docs.openvino.ai/latest/omz_models_model_facenet_20180408_102900.html
9. CASIA-WebFace. URL: <https://paperswithcode.com/dataset/casia-webface>
10. Face Detection Data Set and Benchmark Home. URL: <http://vis-www.cs.umass.edu/fddb/>

PERSON IDENTIFICATION IN A VIDEO STREAM BY MACHINE LEARNING METHODS

I.C. Kunak, I.M. Shpinareva, V.G. Pienko

Odessa I. I. Mechnikova National University, 2 Dvoryanska str., Odessa, Ukraine,
 e-mail: kunak19999@gmail.com, iryna.shpinareva@onu.edu.ua, vpenko@onu.edu.ua

Successful identification of a person in a real-time video stream is a critical function in a wide range of relevant subject areas. On the other hand, such a task is complex and can be effectively solved only with the help of modern artificial intelligence approaches. In this work, the previously developed MTCNN approach is used as a key algorithm for face image recognition and vectorization, which uses a cascade of several neural networks to identify key points of the face of a recognizable personality. In addition to the main algorithm, an integrated system was implemented that provides the functionality of person identification available to the end user. Additionally, face identification modules were implemented based on vectors representing a person in a video frame, a subsystem for storing and replenishing the database of recognizable persons, and a convenient user interface. Modifications of the MTCNN architecture proposed in this paper made it possible to achieve real-time performance and acceptable identification quality at the level of 0.92 according to the F1-metric.

Keywords: person identification, face key points, cascaded convolutional neural networks.

ОСНОВНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КІБЕРБЕЗПЕКИ ОРГАНІЗАЦІЙ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ COVID-19 ТА КАРАНТИННИХ ОБМЕЖЕНЬД.Б. Мехед¹, К.М. Мехед²¹Національний університет «Чернігівська політехніка»

вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна. E-mail: d.mekhed@gmail.com

²Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка

вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, 14013, Україна. E-mail: ekaterina.mekhed@gmail.com

Метою роботи є дослідження наслідків впливу дистанційної, віддаленої роботи співробітників організацій, яка стала вимушеною у зв'язку з пандемією COVID-19 та введенням карантинних обмежень, які розпочалися на початку 2020 року і все ще продовжуються на момент написання цієї статті. Цілі дослідження зосереджені на визначенні різних шляхів реалізації посилення спроможностей організацій для протидії кіберзагрозам, забезпеченні належного рівня їх захищеності. В роботі розглянута проблема розповсюдження кіберзагроз майже у всіх сферах життя людини, окреслена важливість відповідних змін алгоритмів, стратегій та тактик до протидії ним, підкреслена значущість вміння з максимальною швидкістю виявляти вразливості та кібератаки задля влучного та ефективного реагування, обговорено важливість оцінки кожною організацією можливих ризиків з вживання відповідних заходів з метою підвищення рівня кібербезпеки до кращого захисту організацій. Робота містить збір даних про свіжі дослідження, проведені в рамках вивчення динаміки віддаленої, дистанційної роботи та ризиків кібербезпеки як в наслідок карантинних обмежень у зв'язку з Covid 19 так і не обумовлених цією причиною. Пандемія COVID-19 створила нові проблеми для організацій, оскільки вони повинні адаптуватися до операційної моделі, в якій дистанційна робота вдома стала «нормою нашого часу». Обмеження, запроваджені урядом у відповідь на пандемію, спонукали співробітників працювати з дому і навіть залишатися вдома. Як наслідок, інформаційно-комунікаційні технології стали ще важливішими як у роботі, так і в особистому житті кожного. Незважаючи на зростання потреби в технологіях, слід зауважити, що багато організацій досі не реалізували кібербезпечне середовище дистанційної роботи. У цій статті розглядається вплив COVID-19 на кібер-ризиків та заходи щодо їх зниження, які можуть прийняти організації.

Ключові слова: кібербезпека, інформаційні загрози, дистанційна робота, безпека організацій, пандемія COVID-19.

Вступ

21 століття під вагомим впливом шостого технологічного укладу разом з ризиками їм обумовленим, з котрими зустрічається цивілізація сьогодення, важливого пріоритету у системі національної безпеки України набуває питання забезпечення кібербезпеки. Наразі спостерігаємо удосконалення технічного рівня реалізації кіберзагроз, впроваджуються та успішно використовуються новітні інструменти, алгоритми й механізми кібератак, розробляються нові ідеї для маніпуляції суспільної поведінки та думки. Безперечно треба врахувати вплив пандемії COVID-19 та карантинних обмежень, пов'язаних з нею, адже очевидно, що даний вплив буде довготерміновий на системи світопорядку, що в свою чергу неминуче призведе до посилення ролі інформаційних технологій та електронних комунікацій у буденному спілкуванні та спілкуванні на роботі, що обумовлює зростання вразливості процесів інформаційної обробки та обробки персональних даних. Важливого значення в досягненні окресленої нами пріоритетності забезпечення кібербезпеки набуває посилення можливостей та ефективності на системи кібербезпеки для протидії

кіберзагрозам в безпековому середовищі сьогодення, забезпечення на потрібному рівні захищеності персональних даних, даних організації, інформаційних ресурсів тощо шляхом впровадження в державі та організаціях зокрема відповідних додаткових заходів.

Пандемія COVID-19 створила нові проблеми для організацій, оскільки вони повинні адаптуватися до операційної моделі, в якій дистанційна робота вдома стала «нормою нашого часу». Обмеження, запроваджені урядом у відповідь на пандемію, спонукали співробітників працювати з дому і навіть залишатися вдома. Як наслідок, інформаційно-комунікаційні технології стали ще важливішими як у роботі, так і в особистому житті кожного. Незважаючи на зростання потреби в технологіях, слід зауважити, що багато організацій досі не реалізували кібербезпечне середовище дистанційної роботи. У цій статті розглядається вплив COVID-19 на кібер-ризик та заходи щодо їх зниження, які можуть прийняти організації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблема дистанційної роботи через COVID-19 і карантинних обмежень докладно розглянута у працях зарубіжних науковців E. Ingusci, A. Khanna, A. Manuti, M. Molino, питанню кібербезпеки та кіберзагрозам в епоху COVID 19 присвячені праці науковців G. Anderson, S. Blumenfeld, S. Brohi, S. Chakraborty, G. Crossland, E. DeFilippis, Y. Hernandez, V. Hooper, S. Impink, N. Khan, J. Polzer, R. Sadun, M. Singell, N. Zaman. На сьогодні вітчизняними науковцями недостатньо уваги приділяється методам протидії кіберзагрозам для захисту організацій у період пандемії та карантину.

Мета роботи

Дослідити наслідки впливу дистанційної, віддаленої роботи співробітників організацій, яка стала вимушеною у зв'язку з пандемією COVID-19 та введенням карантинних обмежень, які розпочалися на початку 2020 року і все ще продовжуються на момент написання цієї статті. Цілі дослідження зосереджені на визначенні різних шляхів реалізації посилення спроможностей організацій для протидії кіберзагрозам, забезпеченні належного рівня їх захищеності.

Виклад основного матеріалу

Наразі ми спостерігаємо істотні зміни майже у всіх сферах нашого життя під впливом четвертої промислової революції – суспільство функціонує по-іншому, інформаційно - комунікаційні технології мають всюдипроникливий вплив і разом з великими можливостями відкривають поле і для динамічного розвитку злочинів у цій сфері. З кожним роком кіберзлочини стають дедалі масовішими й небезпечнішими. Згідно Стратегії Кібербезпеки України, затвердженої Указом Президента України від 26 серпня 2021 року № 447/2021 «Забезпечення кібербезпеки є одним із пріоритетів у системі національної безпеки України. Реалізація зазначеного пріоритету буде здійснюватися шляхом посилення спроможностей національної системи кібербезпеки для протидії кіберзагрозам у сучасному безпековому середовищі» [1].

У 2020 році на рівень кіберзлочинності вплинув не тільки стрімкий розвиток інформаційних технологій, а й відомі карантинні обмеження у зв'язку з пандемією через вірус COVID-19: перехід співробітників організацій на віддалену роботу, які в свою чергу все більше покладаються на технології для обміну тієї чи іншої інформації, емоційна нестабільність особистості через страхи та накладені обмеження, зростання кількості онлайн розрахунків тощо. В [1] зазначено, що «Пандемія COVID-19 матиме

довготривалий вплив на світовий порядок, посилюючи роль електронних комунікацій у повсякденному спілкуванні та роботі, що підвищує ступінь вразливості процесів обробки інформації, зокрема персональних даних. Це вимагає забезпечення належного рівня їх захищеності та змушує державу і бізнес впроваджувати додаткові механізми і заходи щодо належного функціонування і захисту всіх необхідних для життєдіяльності інформаційних ресурсів і систем.»

Згідно з звітом [2] ми спостерігаємо, що кількість кібератак у світі за 2020 рік у 2,2 рази перевищила кількість витоків даних організацій, що виникла через помилку. У 2020 році кількість зламаних записів збільшилась у 1,5 рази ніж у 2019 році. За даними фахівців, за минулий рік було скомпрометовано понад 20 мільярдів записів персональних даних та платіжної інформації [3] і завдано збитків за даними американської компанії McAfee, яка спеціалізується на комп'ютерній безпеці, та Центру стратегічних і міжнародних досліджень (CSIS) на трильйон доларів США, що становить понад один відсоток світового ВВП.

За даними звіту Голови Національної поліції України про результати відомства у 2020 році в Україні наразі зафіксовано всі ключові «класичні» кіберзлочини і їх кількість зросла у порівнянні з попередніми роками. У даному звіті зазначено про наявність крадіжок грошей з банківських рахунків, різних видів шахрайств з платіжними картами, поширення комп'ютерних вірусів, викрадення різних типів даних, онлайн-торгівля наркотиками та зброєю, формування у дітей суїцидальної поведінки. За даними кіберполіції у 2020 році зареєстровано понад 5 тисяч кіберзлочинів із завданими матеріальними збитками на суму 241 млн. гривень, з яких 180 млн. гривень було відшкодовано. Враховуючи актуальність даної проблеми кіберполіцією була відкрита пряма лінія сервісної служби з надання громадянам консультацій з питань кібербезпеки, яка за 9 місяців своєї роботи прийняла більш ніж 100 000 дзвінків та понад 40 000 електронних звернень. У світлі викладеного саме протидія кіберзлочинам відмічена як пріоритет у діяльності Національної поліції. [4]. Але як підкреслює голова департаменту кіберполіції О. Гринчак, на жаль за чотири перші місяці 2021 року кількість кіберзлочинів продовжує зростати і знову ж таки збільшилась на 25% у порівнянні з попереднім роком [5].

Тож з огляду на вищезазначене гостро постає проблема необхідності підвищення рівня кібербезпеки, вживання відповідних заходів до кращого захисту організацій. Наряду з такими завжди актуальними азами, як правила створення та використання надійних паролей, правила безпечного користування соціальними мережами, безпечний онлайн-шопінг, особливо актуальні наразі рекомендації націлені на зниження рівня кіберзлочинності, враховуючи загрози, які або посилились, або виникли чи адаптувались в наслідок умов пандемії.

Кожній організації треба враховувати те, що практика кібербезпеки вдома відрізняється від такої в офісі, тому співробітників необхідно інформувати та навчати новим зразкам поведінки та методам, які їм за необхідності треба буде використовувати. У дослідженні [6] у ході опитування понад півтисячі віддалених та штатних співробітників виявили ряд факторів, які сприяли дотриманню політики інформаційної безпеки та відмінностей в поведінці та діях віддалених та штатних співробітників. Результати дослідження виявили, що співробітники, які працюють дистанційно відрізняються від офісних співробітників передбачуваним рівнем поінформованості про політику безпеки та конфіденційності, самоефективністю та намірами дотримуватися нормативних вимог. Ці результати свідчать, що відсутність підтримки (чи то усної, демонстративної чи матеріальної) знижує здатність дистанційних співробітників усвідомлювати політику безпеки та конфіденційності у своїй організації та відповідно здатність її дотримуватися. Ці висновки підтверджуються попередньою роботою [7] цих науковців, яка демонструє, як «статус дистанційного працівника» може призвести до зниження поінформованості про інформаційну безпеку. Зарубіжні дослідники стверджували, що робота вдома збільшує

ризик (зазвичай ненавмисних) внутрішніх загроз. Так, згідно з дослідженням [7], третина організацій, які приймали участь в опитуванні, зазнала кібератаки внаслідок того, що співробітник працював за межами периметра безпеки підприємства. Р. Chapman у [8] стверджує, що робота з дому може викликати ті ж проблеми, що й така політика організації як BYOD («bring your own device» або «принеси свій власний пристрій»). Якщо працівники працюють на особистих пристроях, вони мають бути захищені на рівні, санкціонованому компанією. Треба враховувати, що зловмисники в кіберпросторі використовують пандемію та націлені на домашніх працівників, намагаючись вкрасти інформацію [9]. К. Okereafor та О. Adebola дають наступні рекомендації у світлі досліджуваної проблеми: тестувати комерційні веб-сайти перед здійсненням платежів, проявляти пильність щодо фішингових листів та інших методів соціальної інженерії, встановлювати антивірусне програмне забезпечення, уникати кліків на підозрілі веб-адреси та URL-адреси, перевіряти джерела інформації про коронавірус та створювати резервні копії даних [10]. Що стосується паролей, то поради щодо їх надійності залишаються актуальними як і раніше [11]. Хоча експерти з кібербезпеки в найближчі 10 років сподіваються, що цей напрямок буде розвиватися і ми матимемо більше можливостей аутентифікації без паролей. Найближчим десятиліттям прогнозується більше біометрії та перехід на додаткові методи аутентифікації за допомогою мобільних пристроїв, які уже завжди з нами.

Спеціалістами з кібербезпеки запропоновані різні моделі для подолання проблем поінформованості про інформаційну безпеку при дистанційній роботі. Частина з них ґрунтується на припущенні, що співробітників можливо змусити знайомитися з ризиками, пов'язаними з виходом у кіберпростір, примушуючи розміщувати модулі інформаційної безпеки в мережі. Однак ця модель не гарантує, що користувачі з більшою ймовірністю дотримуватимуться політики організації, оскільки поінформованість не завжди призводить до зміни поведінки. Крім того, є ймовірність виникнення негативної реакції персоналу на примусове навчання, що може призвести до зниження довіри до роботодавця. Інша модель основана на припущенні, що знання та поінформованість про інформаційну безпеку, які отримані одного разу на робочому місці, переносяться в домашнє середовище. Автори цієї моделі роблять припущення, що така модель навчання дає можливість відійти від програм підвищення обізнаності організації та перейти до стратегій підвищення обізнаності, що в свою чергу сприятимуть розвитку всебічної індивідуальної культури безпеки для користувачів незалежно від того, чи працюють вони в офісі чи дистанційно [12].

Вважаємо за доцільне, щоб кожна організація оцінила які ризики викликають найбільше занепокоєння. Оцінка безпеки моделей дистанційної роботи повинна включати запитання: Як перехід у режим дистанційної роботи змінює нашу позицію у сфері кібербезпеки? Які кібер-гігієнічні методи ми використовуємо, а які потрібно додати для дистанційної роботи? Якими ще ризиками – операційними, нормативними та нормативно-правовими – ми повинні керувати?

В довгостроковій перспективі треба виділити наступні стандарти безпеки та рішень організації безпечної дистанційної роботи:

Підключення та пристрої:

- Інфраструктура на запит з використанням хмарних технологій (scale up та scale out).
- Хмарна безпека та безпека мережі.
- Безпека кінцевих точок.

Операції і доступ:

- Віртуальні операційні центри безпеки (SOC), які дозволяють віддалено працювати аналітикам, підвищуючи продуктивність та доступність.
- MSSP як економічне рішення.

- Платформа ідентифікації, що забезпечує безперебійний, легкий та простий цифровий досвід для клієнтів та співробітників.
- Оновлені алгоритми та аналітичні рішення для виявлення аномальної поведінки та встановлення цілісної ідентичності.

Координація:

- У межах міжфункціональних команд, неперервна оцінка, визначення пріоритетів та плани реагування для пом'якшення потенційних ризиків, пов'язаних із третіми сторонами.
- Надійний аналіз ризиків і планування стратегій для врахування можливих збоїв.

Актуальними на ринку кібербезпеки є нижчезазначені професійні послуги, які направлені на підвищення рівня захисту організацій: виявленні кібератак, протидії кібератак, відбитті та нейтралізації наслідків кібератак та кіберінцидентів. А саме:

- внутрішнє і зовнішнє тестування на проникнення в мережу;
- тести на проникнення (послуги етичних хакерів);
- аналіз захищеності вихідного коду;
- аналіз захищеності веб-додатків;
- аналіз захищеності інтерфейсу взаємодії з додатками (API);
- аналіз захищеності мобільних додатків.

Консалтинг з кібербезпеки пропонує:

- CISO as Service або віртуальну команду з кібербезпеки;
- управління кібер-ризиками;
- відновлення після кіберінцидентів;
- оцінка відповідності GDPR та ISO27001;
- аудит кібербезпеки;
- вибір постачальників і підрядників;
- безпека аутсорсингу;
- управління обізнаністю співробітників;
- консультативна підтримка;
- розслідування кіберінцидентів.

Наразі 42% директорів організацій, які брали участь у опитуванні PwC, підкреслили, що робоча сила/зниження продуктивності входять в трійку їх головних побоювань пов'язаних з COVID-19. Організаціям потрібно прискорити свою цифрову трансформацію, і сьогодні кібербезпека є вкрай нагальною потребою. Якщо не враховувати ризики кібербезпеки, це може мати серйозні наслідки для репутації, експлуатації, законодавства та дотримання нормативних вимог.

Висновки

В роботі розглянута проблема розповсюдження кіберзагроз майже у всіх сферах життя людини, окреслена важливість відповідних змін алгоритмів, стратегій та тактик до протидії ним, підкреслена значущість вміння з максимальною швидкістю виявляти вразливості та кібератаки задля влучного та ефективного реагування, обговорено важливість оцінки кожною організацією можливих ризиків з вживання відповідних заходів з метою підвищення рівня кібербезпеки до кращого захисту організацій.

Робота містить збір даних про свіжі дослідження, проведені в рамках вивчення динаміки віддаленої, дистанційної роботи та ризиків кібербезпеки як в наслідок карантинних обмежень у зв'язку з COVID-19 так і не обумовлених цією причиною.

Цифровий простір у зв'язку з стрімкими змінами вимагає більшої спроможності системи кібербезпеки як організацій так і держави в цілому, її ефективності та збалансованості, яка може видозмінюватися залежно від змін безпекового середовища, забезпечуючи їх безпечне функціонування.

Подальша робота має на меті вивчення стратегій, що використовуються лідерами кібербезпеки, зібрання передового досвіду протидії кібератакам задля розуміння як різні

організації адаптувалися до нових форм роботи зберігаючи/зменшуючи свою вразливість до кібер-ризиків, а також досвіду який використовується для підтримки довіри співробітників, розвитку командної роботи, захисту психічного здоров'я членів команди, зниження інсайдерського ризику та людського фактору.

Список літератури

1. Стратегія кібербезпеки України від 26.08.2021 № 447/2021. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/4472021-40013>
2. Cyber Security solutions and Products. 2020 cyber security statistics. URL: <https://www.itgovernance.co.uk/>
3. Статистика з кібербезпеки за 2020 рік. URL: <https://10guards.com/ua/articles/2020-cybersecurity-statistics/>
4. Звіт Національної поліції України про результати роботи у 2020 році. URL: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2020/npu-zvit-2020.pdf>
5. Кіберполіція. Національна поліція України. URL: <https://www.cyberpolice.gov.ua>
6. Johnston A. C., Wech B., Jack E., Beavers M. Reigning in the Remote Employee: *Applying Social Learning Theory to Explain Information Security Policy Compliance Attitudes*. AMCIS. 2010 P. 493.
7. Johnston A. C., Wech B., Jack E. Engaging remote employees: The moderating role of “remote” status in determining employee information security policy awareness. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*. 2000. V. 25(1). P.1-23.
8. Cybsafe. Remote working poses significant security risk to UK’s SME businesses, new research reveals. *Cybsafe*. 2018. URL: <https://www.cybsafe.com/press-releases/remote-working-poses-significant-security-risk-to-uks-sme-businesses-new-research-reveals>
9. Chapman P. Are your IT staff ready for the pandemic-driven insider threat? *Network Security*, 2020. No.4, P.8-11.
10. Okereafor K., Adebola O. Tackling the Cybersecurity impacts of the coronavirus outbreak as a challenge to internet safety. *Journal Homepage*. 2020. No. 8 (2). URL: <http://ijmr.net>
11. Правила створення та використання надійних паролів – рекомендації кіберполіції. URL: <https://www.cyberpolice.gov.ua/article/pravyla-stvorennya-ta-vykorystannya-nadijnyx-paroliv--rekomendacziyi-kiberpolicziyi-3711/>
12. Talib S., Clarke N.L., Furnell S. M. Establishing a personalized information security culture. *Int. J. of Mobile Communications*. 2011. Vol. 3 No. 1. P. 67-79.

**BASIC PRINCIPLES OF PROVIDING CYBERSECURITY OF ORGANIZATIONS
IN THE COVID-19 PANDEMIC CONDITIONS AND QUARANTINE RESTRAINTS**

D. Mekhed, K. Mekhed

¹National Chernihiv Polytechnic University
Shevchenko, 95, Chernihiv, 14035, Ukraine. E-mail: d.mekhed@gmail.com

²T.G. Shevchenko National University «Chernihiv Collegium»
Hetman Polubotok, 53, Chernihiv, 14013, Ukraine. E-mail: ekaterina.mekhed@gmail.com

In the 21st century, cyber security is becoming an important issue for the national security of Ukraine. This is due to the active formation of the sixth technological order and the risks that society faces today. Currently, there is an improvement in the technical level of the implementation of cyber threats, the latest tools, algorithms and mechanisms of cyber-attacks are being introduced and successfully used, and new ideas are being developed to manipulate public behavior and opinion. The impact of the COVID-19 pandemic and the quarantine restrictions associated with it must be taken into account. The impact on the systems of the world order of these restrictions will be long-term, which will lead to an increased role of information technology and electronic communications in everyday communication and at work. This causes an increase in the vulnerability of information and personal data processing processes. It is of great importance to strengthen the capabilities and effectiveness of the national cybersecurity system to counter cyber threats in the modern security environment, to ensure a high level of protection of personal data, organization data and information resources by introducing appropriate additional measures in the state and organizations. The paper considers the problem of the spread of cyber threats in almost all areas of human life, describes the importance of appropriate changes in algorithms, strategies and tactics to counter them, emphasizes the importance of the ability to identify vulnerabilities and cyber-attacks as quickly as possible for accurate and effective response, taking appropriate measures in order to increase the level of cyber security to better protect organizations. Due to rapid changes, the digital space requires a greater ability of the cybersecurity system of both organizations and the state as a whole, its effectiveness and balance, which can change depending on changes in the security environment, ensuring their safe functioning. The purpose of further research is to study the strategies used by cybersecurity leaders, to collect best practices in countering cyberattacks to understand how various organizations have adapted to new forms of work, maintaining / reducing their vulnerability to cyber risks, as well as the experience used to maintain employee confidence, team development. Work, protecting the mental health of team members, reducing insider risk and the human factor. The article contains a collection of data on recent research conducted as part of the study of the dynamics of telecommuting, remote work and cybersecurity risks both due to quarantine restrictions due to COVID-19 and not due to this reason.

Keywords: cybersecurity, information threats, remote work, organization security, COVID-19 pandemic

МЕТОД ФІЛЬТРАЦІЇ ІМПУЛЬСНИХ ШУМІВ НА ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯХ**Д.В. Палагін¹, О.А. Палагіна², В.В. Палагін³, О.С.Зорін⁴, О.О. Гожий⁵**¹⁻⁴Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна⁵Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України
вул. Пастерівська 104, м. Черкаси, 18009, Україна
e-mail: mr.padi111@gmail.com¹, palahina@ukr.net², palahin@ukr.net³,
snjzrin@gmail.com⁴, hozhyi@ndekc.ck.ua⁵

В процесі формування та передачі зображень по каналах зв'язку вони піддаються впливу різних видів завад, що в ряді випадків призводить до погіршення візуальної якості і втрати ділянок зображень. Зменшення таких дефектів є актуальним завданням в багатьох прикладних задачах при фільтрації та відновленні даних. Досліджено методи та технології відновлення даних в задачах фільтрації цифрових зображень, що дало можливість сформулювати основні напрямки покращення процесів відновлення даних без погіршення їх якості. Роботу присвячено підвищенню ефективності фільтрації зображень при розробці нового методу найменших кінцевих різниць та створенню інтерактивного веб-сервісу його реалізації. Під час розробки методу було використано фізико-математичне трактування відновлення цифрових зображень при взаємодії з адитивними імпульсними шумами, застосована модель градієнтного аналізу при використанні кінцевих різниць піксельних значень зображень. Запропонований алгоритм використано для відновлення тестових зображень, проведено аналіз цифрової обробки у порівнянні з іншими відомими методами за допомогою кількісних та якісних характеристик. Перевагою запропонованих рішень реалізації нового методу відновлення даних є розробка інтернет-сервісу, який характеризується простотою практичної реалізації та високою якістю фільтрації у порівнянні з потужними, але складним для реалізації системами обробки зображень.

Ключові слова: цифрові зображення, імпульсні шуми, фільтрація, відновлення даних, градієнтний аналіз.

Вступ

Системи відновлення і фільтрації зображень є важливою і визначальною частиною сучасних комп'ютерних та інформаційно-телекомунікаційних систем спостереження, діагностики, моніторингу, контролю, управління, розвиток яких характеризується підвищеними вимогами до якості обробки інформації, зростанням рівня складності і розширенням функціональних можливостей. Проблеми, які виникають при вдосконаленні систем цього класу, пов'язані не тільки з технологічним оновленням, але й значною мірою зі створенням досконалих методів обробки сигналів, що являють собою випадкові процеси.

При аналізі технічних систем для оброблення та передачі інформації виділяється значна група, яка призначена для прийому та опрацювання зображень та відеоданих [1-3]. В зображеннях, які сформовані різними приймальними системами, при передачі зображень по каналах зв'язку часто виникають спотворення різної природи, в тому числі під впливом імпульсних завад [4-6]. Найпоширенішим видом таких завад є випадковий адитивний шум, який розглядається, як статистично незалежний від даних. Таке представлення взаємодії корисного сигналу та завад характеризується впливом імпульсних та флуктуаційних завад в телекомунікаційних системах та каналах зв'язку,

шумом квантування в різноманітних перетворювачах тощо та потребує застосування спеціалізованих методів їх усунення [7, 8].

Сфери застосування методів цифрової обробки зображень значно розширюються і активно застосовуються в промисловості, мистецтві, медицині тощо. Цифрова передача зображень по каналах зв'язку, формування зображень кращої якості, автоматизація обробки супутникових, медичних та інших зображень є предметом сучасних досліджень і розробок [9-13], в тому числі при застосуванні різноманітних статистичних методів [14, 15].

В сучасних методах фільтрації при оцінці корисного сигналу в довільній точці відеокадру опрацьовують значення яскравості сусідніх точок або точок ядра (для кольорового зображення беруть RGB-компоненти), базуючись на принципі схожості корисного сигналу в цих точках [7]. Поняття сусідніх точок є досить умовним і обирається в залежності від виду сигналу та завади. Окрім того, може враховуватися ступінь впливу далеких і близьких точок на кінцеве рішення, що приймається фільтром для відновлення зображень.

Велике різноманіття методів фільтрації зображень, які використовуються тільки для певних видів завад, застосування різних критеріїв оптимальності призводить до ускладнень при їх застосуванні та аналізі [11]. В літературі відомі класичні методи фільтрації, такі як медіанний фільтр, фільтр Гауса, фільтр Вінера [3, 7, 9] та інші, що використовуються у відомих сучасних програмних пакетах обробки зображень, часто не мають задовільної ефективності при обробці конкретних типів шумів та часто призводять до часткової втрати корисного сигналу.

Головним завданням даної роботи є розробка та аналіз нового методу, який покращує результати фільтрації даних у порівнянні з існуючими підходами відновлення зображень.

Метою роботи

Підвищення ефективності фільтрації зображень при розробці нового методу найменших кінцевих різниць (**МНКР**) та створення інтерактивного веб-сервісу його реалізації. Запропонований метод фільтрації дозволяє ефективно усунути імпульсні шуми з відеоданих з урахуванням апріорної інформації про шум без значного спотворення корисної інформації. Знайдені кількісні характеристики оцінки ефективності методу показують кращі результати фільтрації імпульсних шумів на зображенні у порівнянні з відомими.

Методи фільтрації зашумлених цифрових зображень

Фільтрації цифрових зображень ґрунтується на тому, що яскравість зображення змінюється повільніше по просторовим координатам у порівнянні з функцією завад [1, 7]. При обробці кадру і оцінюванні рівня яскравості пікселя в деякій точці враховують значення яскравості сусідніх пікселів (або значення RGB-компонент), ґрунтуючись на принципі схожості сигналу в цих точках або околиці. Сусідні пікселі можуть бути утворені найближчими для кадру пікселями (сусідніми пікселями), але можуть бути обрані, як більш складні структури і бути сильно віддаленими від досліджуваного пікселя. Тоді, вплив (або вага) різновіддалених пікселів на рішення, що приймаються фільтром для заданої точки кадру, буде різним. Цифрова фільтрації зображення ґрунтується на раціональному виборі даних з робочої точки та її околиці. Один кадр цифрового зображення представляється у вигляді двовимірної матриці розмірністю $n \times m$ (рис. 1.1а), де яскравість пікселя позначено, як $\text{pixel}(x,y)$.

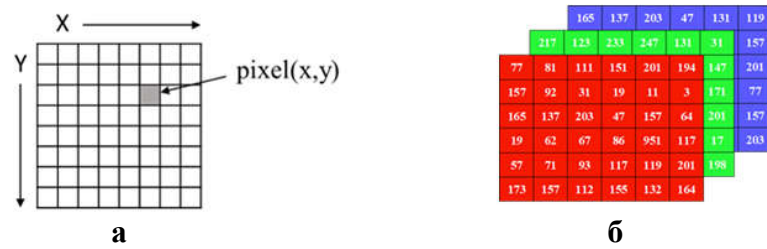


Рис. 1. а) Цифрове представлення інформації у вигляді двовимірного масиву; б) Цифрове представлення кольорового зображення у форматі RGB

Для чорно-білих зображень рівень яскравості пікселя приймає значення від нуля (чорний) до 255 (білий). Для кольорового зображення використовується три двовимірні масиви (по одному для каналів RGB) (рис.1.б)

На рис.2а представлено зображення одного кадру для досліджуваного пікселя (x,y) з координатами x та y та його сусідів. На рис.2.б демонструється перехід від двовимірного масиву до одновимірного при комп’ютерному представленні і обробці даних.

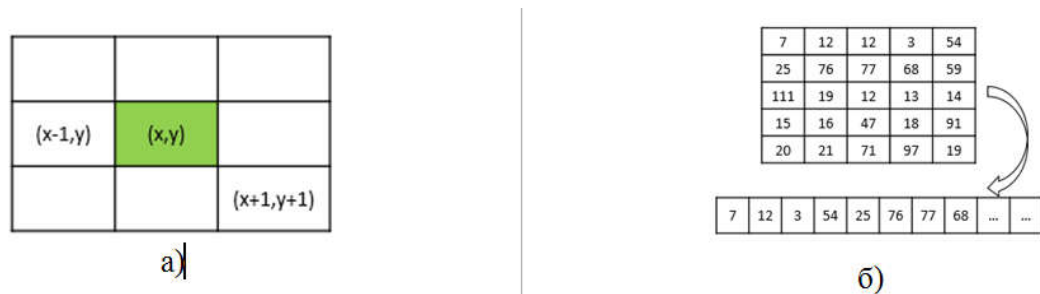


Рис. 2. Двовимірна модель цифрового зображення (а) та її трансформація для комп’ютерної обробки в одновимірний масив(б)

Для лінійної фільтрації кінцевий результат визначається лінійною комбінацією вхідних даних:

$$x^*(i, j) = \sum_{(i_l, j_l) \in S} a(i_l, j_l) * y(i - i_l, j - j_l) \tag{1}$$

де $x^*(i, j)$ - відфільтроване значення корисного сигналу в точці з координатами (i,j) за множиною точок S, що утворюють околицю робочої точки, $a(i_l, j_l)$ - коефіцієнти, які представляють двовимірну імпульсну характеристику.

Найбільш поширеним критерієм оптимальності для оцінки якості фільтрації зображень є мінімум середньоквадратичного відхилення і представляється функціоналом:

$$E \left\{ \left[x(i, j) - \sum_{(i_l, j_l) \in S} a(i_l, j_l) * y(i - i_l, j - j_l) \right]^2 \right\} \tag{2}$$

де символом $E\{*\}$ позначається оператор математичного сподівання.

Побудова оптимального фільтра полягає у знаходженні такого алгоритму обробки зображення, при якому середній квадрат помилки між оригінальним і відфільтрованим значенням $\xi(i, j) = x(i, j) - x^*(i, j)$ є мінімальний.

Найпростіший варіант фільтрації полягає в присвоєнні центральному пікселю

нового значення як середньоарифметичного всіх його сусідів, значення яких відрізняються від значення центрального не більше ніж на деякий поріг. Прикладами таких фільтрів є прямокутний і круговий усереднюючий фільтр [7]. Більш ефективно усунення шуму можна здійснити, якщо вплив пікселів один на одного буде зменшуватися з відстанню за певним законом, заданим функцією Гауса. В цьому випадку кажуть про реалізацію *гаусової фільтрації*.

Застосування *медіанної фільтрації* - стандартний спосіб зменшення імпульсного шуму. Для кожного пікселя в деякій околиці (вікні) знаходиться медіанне значення і присвоюється тому пікселю, який обробляється. Значення відновленого зображення при медіанній фільтрації у довільній точці (x, y) буде мати вид:

$$\bar{f}(x, y) = med\{g(x, y)\} \quad (3)$$

Такий вид фільтрації широко використовується у багатьох програмних додатках для фільтрації і відновлення даних, зокрема в пакетах *Adobe PhotoShop, Paint, GIMP* та ін., які не демонструють задовільної якості при фільтрації зображень з імпульсними завадами (див. рис.3).

Інший приклад використання широко вживаного пакету *GIMP* для фільтрації імпульсних шумів у вигляді чорних крапок (шум типу «Перець») так само не призводить до задовільних результатів при різних налаштуваннях – немає усунення шумів, спостерігається розмиття зображення (рис.4).

Розглянуті інші інструменти фільтрації, зокрема онлайн-сервіси: *Remove Noise Online* (<https://pinetools.com/remove-noise-image>), *Image Noise Reduction Online* (<https://online-photo-converter.com/image-noise-reduction>) та ін. Вони були задіяні в експерименті фільтрації зображення і не продемонстрували задовільного результату відновлювання зображення – немає повного усунення шумів, спостерігається суттєве розмиття зображення.

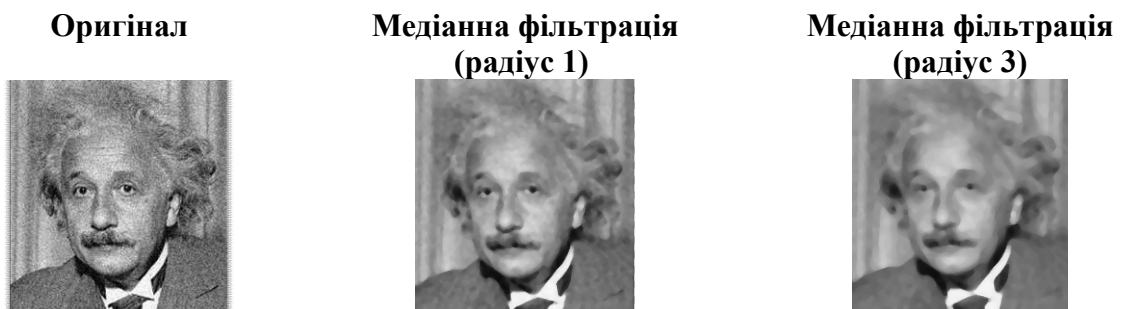


Рис. 3. Результати фільтрації зашумленого зображення (тип шуму «Градації сірого») медіанним фільтром в пакеті *Adobe PhotoShop* (зображення взято з джерела <https://public.wikireading.ru>)

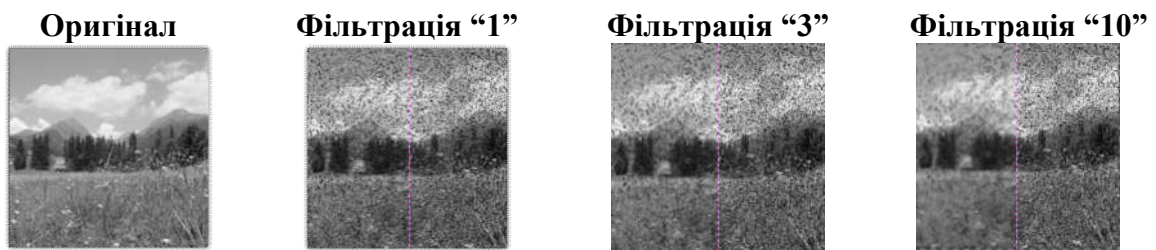


Рис. 4. Результати фільтрації зашумленого зображення (шум типу «Перець») в пакеті *GIMP* при різних налаштуваннях

Таким чином виникає необхідність в розробці нових методів і інструментальних засобів реалізації фільтрації зображень при впливі імпульсних шумів.

Метод найменших кінцевих різниць для фільтрації імпульсних шумів на відео зображеннях

Всі лінійні алгоритми фільтрації призводять до згладжування різких перепадів яскравості цифрових зображень, що пройшли обробку. Такі процедури фільтрації є оптимальними при нормальному розподілі сигналів, шумів і спостережуваних даних. Проведений аналіз показує, що реальні зображення, які обробляються, мають інші характери розподілів. Одна з основних причин полягає в наявності у зображеннях різноманітних границь, перепадів яскравості та ін. Таким чином, зображення погано представляються у вигляді гаусових моделей розподілів яскравості. Це є однією з причин незадовільної передачі границь в зображеннях при застосуванні лінійної фільтрації. Часто при обробці даних та зображень спостерігається спотворення у вигляді імпульсних шумів різних видів. В цьому випадку на зображеннях спостерігаються білі, чорні або сірі крапки, хаотично розкидані по кадру. Застосування лінійної фільтрації в цьому випадку неефективно – кожен з вхідних імпульсів дає відгук у вигляді імпульсної характеристики фільтра, а їх сукупність сприяє поширенню помилки фільтрації на всю площу кадру. В роботі реалізується новий алгоритм фільтрації імпульсних шумів на основі розробленого методу найменших кінцевих різниць (МНКР). Запропонований авторський метод фільтрації відрізняється від медіанної фільтрації і призначений для зменшення впливу імпульсних шумів різних типів при збереженні чіткості і якості. Запропонований метод полягає в заміні досліджуваного пікселя з координатами (x,y) новим значенням таким чином, щоб різниця яскравості (або значення RGB для кольорових зображень) його значення з можливими сусідами була найменшою. Даний принцип проілюстрований на рис.5.

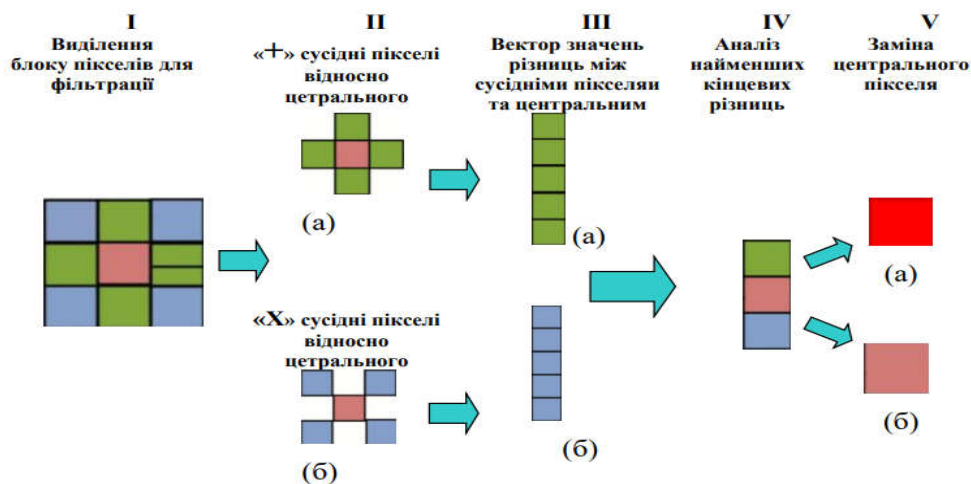


Рис. 5. Алгоритм заміни центрального пікселя досліджуваного ядра методом найменших кінцевих різниць

На рисунку 5 в якості ядра розглядається блок пікселів розміром 3×3 і фільтрації підлягає центральне значення пікселя (виділено рожевим кольором) (I). В якості сусідніх пікселів розглядаються різні комбінації, зокрема комбінація «+», позначена на рис. 5.а (II), або комбінація «X», позначена, як рис.5.б (II). В результаті розгляду однієї з таких комбінацій сусідніх пікселів утворюється *вектор кінцевих різниць* (III), який розраховується як різниця рівнів яскравості сусідніх пікселів з центральним, та проводиться його аналіз (IV). Якщо в результаті заміни центрального значення (рожевий піксель) сума кінцевих різниць прийме менше значення, то досліджуваний

центральный піксель замінюється на нове значення (V, a), а якщо ні, то залишається попереднє значення (V, b).

Комбінація сусідніх пікселів або ядра може бути різною в залежності від задачі та параметрів налаштувань. Зокрема, може розглядатися комбінація виду «+» (рис.5.а) – 4 сусідніх пікселя, виду «X» (рис.5.б) – також 4 сусідніх пікселя, або їх повна комбінація «+X» – 8 сусідніх пікселів. Окрім того, можна модифікувати даний підхід і розглядати інші розміри та форми досліджуваного ядра, зокрема «3*3», «5*5», «7*7» та ін. з відповідним підбором сусідів (див. рис.6.)

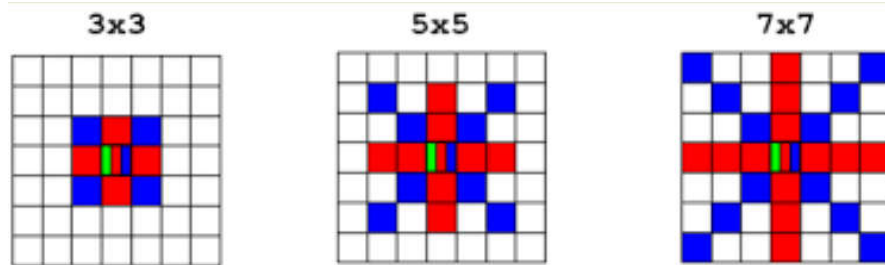


Рис. 6. Вибір розміру ядра і сусідніх пікселів типу «+», «X» та «+X», які беруть участь в обробці даних при застосуванні методу найменших кінцевих різниць

При реалізації даного методу фільтрації необхідно провести оцінювання ефективності відновлення даних. Оцінка результатів фільтрації проводилася за такими критеріями:

- 1) шляхом візуальної оцінки відфільтрованого зображення;
- 2) шляхом розрахунків середнього квадратичного відхилення (СКВ) (англ. *standard deviation*) інтенсивності яскравості пікселів:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij}^f - x_{ij}^{orig})^2} \quad (4)$$

де x_{ij}^f – значення яскравості відфільтрованого пікселя, а x_{ij}^{orig} – значення яскравості пікселя з оригінального зображення, m, n – розмірність кадра в піксельному представленні;

- 3) шляхом визначення відношення сигнал/шум (*SNR – signal to noise ratio*):

$$SNR = 10 \log \frac{255^2}{\sigma^2} \quad (5)$$

де σ^2 – дисперсія (потужність) завади.

На основі запропонованого авторського методу фільтрації розроблений онлайн-сервіс, який дозволяє реалізувати нові алгоритми фільтрації з кращими показниками якості у порівнянні з відомими.

Результати дослідження та їх обговорення

Розроблений додаток у вигляді веб-ресурсу, який реалізований із застосуванням мов програмування *JavaScript, HTML, CSS* та надає можливість вибору зображень або завантаження довільного графічного файлу, який підлягає фільтрації (див. рис.7). Інтерактивний веб-додаток містить наступні інструменти фільтрації, представлені на рис.8 та в табл.1.



Рис. 7. Фрагмент головної сторінки веб-додатку «Обробка зображення»

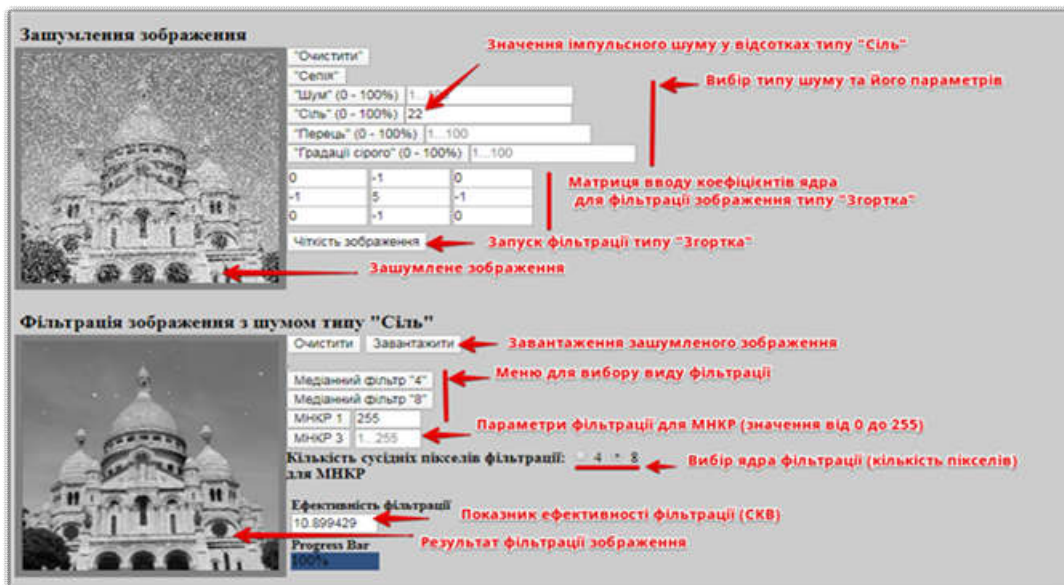


Рис. 8. Фрагмент головної сторінки веб-додатку з інструментами і налаштуваннями фільтрації зображення

Таблиця 1

Параметри фільтрації та тип шуму				
№	Тип фільтрації	Параметри фільтрації	Тип шуму	Критерій ефективності
1	Медіанна-4	«+» - 4	<ul style="list-style-type: none"> «Сіль»; «Перець»; «Градації сірого» 	СКВ
2	Медіанна-8	«+X» - 8	<ul style="list-style-type: none"> Сіль»; «Перець»; «Градації сірого» 	
3	МНКР-1	0...255 0...500	<ul style="list-style-type: none"> «Сіль»; «Перець»; «Градації сірого» 	
4	МНКР-3	0...255 0...500	<ul style="list-style-type: none"> Сіль»; «Перець»; «Градації сірого» 	

В роботі реалізована медіанна фільтрація «Медіанна-4» та «Медіанна-8» типу («+» – 4) і («+X» – 8) для можливості порівняння з результатами фільтрації при застосуванні відомих програмних додатків (наприклад, Adobe PhotoShop CS5), а також запропонований новий алгоритм фільтрації при однократному (МНКР-1) і трикратному (МНКР-3) застосуванні МНКР. В якості шумів моделюються імпульсні викиди типу «Сіль» (випадкові викиди з максимальною яскравістю 255), імпульсні викиди типу «Перець» (випадкові викиди з мінімальною яскравістю 0), імпульсні викиди типу «Градації сірого» (випадкові викиди яскравості в діапазоні 0..255).

Результат фільтрації шуму типу «Сіль» при 10% зашумленості при використанні різних фільтрів представлений на рис.9. Для цього, в першу чергу, було використано оригінальне, не спотворене зображення (а), щоб була можливість оцінити кількісні показники СКВ при застосуванні різних фільтрів.

На рисунку 9 наводиться результат застосування чотирьох фільтрів. Як видно, найкращий результат отримується при застосуванні авторської фільтрації методом МНКР при однократному (д) і трикратному (е) застосуванні у порівнянні з медіанною фільтрацією на 4 (в) і 8 (г) сусідніх компонент. Показник СКВ для різних видів фільтрації відрізняється і є найменшим для МНКР, що свідчить про його перевагу у порівнянні з медіанними фільтрами, які широко використовуються у різноманітних додатках. Проведені експериментальні дослідження фільтрації зображень різними методами при його заповненні адитивним шумом типу «Сіль», «Перець» та «Градації сірого» від 20% до 50%. Аналіз експериментів показав, що суттєвий вииграш проявляється при застосуванні саме нового методу відновлення даних у порівнянні з відомими результатами, зокрема медіанною фільтрацією. Чим більше зашумлене зображення, тим більше перевага у фільтрації при застосуванні МНКР (див. рис.10).

Проведені експериментальні дослідження фільтрації іншого типу шуму – «Сітка», «Смуги». Застосування добре відомих пакетів, наприклад Adobe PhotoShop та Gimp не дає якісного результату, в той час, як використання нового методу МНКР для кількості сусідніх пікселів фільтрації 8 дає найкращий результат, коли відфільтроване зображення майже повністю збігається з оригіналом (див. рис.11). Окрім того, в роботі реалізований додатковий сервіс обробки зображень з використанням згортки, що дає користувачу додаткові гнучкі можливості по модифікації об'єктів, зокрема збільшення їх чіткості та контрастності, виділення границь зображення, отримання ефекту розмиття, що усуває високочастотні завади на зображеннях (див. рис.12). Змінити коефіцієнти ядра користувач може самостійно шляхом експерименту та отримати інші цікаві результати фільтрації, наприклад з ядрами:

$$K_{-1} = \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}, \quad K_{-2} = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

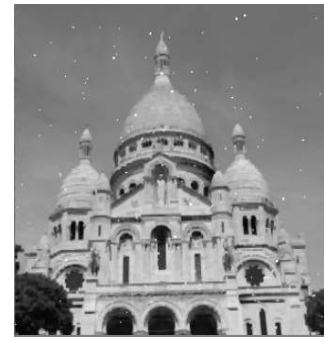
Порівняльний аналіз ефективності фільтрації по параметру СКВ від степені зашумленості різними методами наведений на рис.13. З графіка видно, що застосування МНКР покращує результат фільтрації.



а) оригінальне зображення



б) зображення з імпульсним шумом типу «Сіль» - 10%



в) медіанна фільтрація («+» - 4), СКВ - 6.6912



г) медіанна фільтрація типу («+X» - 8), СКВ - 6.9286



д) фільтрація методом МНКР-1, СКВ - 6.4540

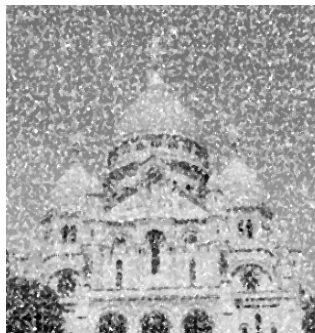


е) фільтрація методом МНКР-3, СКВ - 6.5752

Рис. 9. Результат фільтрації зображення при впливі імпульсного шуму типу «Сіль» при 10% заповненні



а) зображення з адитивним шумом типу «Сіль», 30%



б) медіанна фільтрація з використанням *Adobe PhotoShop*



в) медіанна фільтрація типу («+» - 4), СКВ - 10.5949



г) медіанна фільтрація типу («+X» - 8), СКВ - 8.6896



д) фільтрація методом МНКР-1, СКВ - 7.2143



е) фільтрація методом МНКР-3, СКВ - 6.7599

Рис. 10. Результат фільтрації зображення при впливі адитивного шуму типу «Сіль» при 30% заповненні



Рис. 11. Результат фільтрації зображення при впливі адитивного шуму типу «Смуги» (зображення взято з джерела <http://decsai.ugr.es/cvg/CG/base.htm>)



Рис. 12. Результат збільшення чіткості зображення при застосуванні згорточних операцій ядром K_1 , K_2 та Sobel

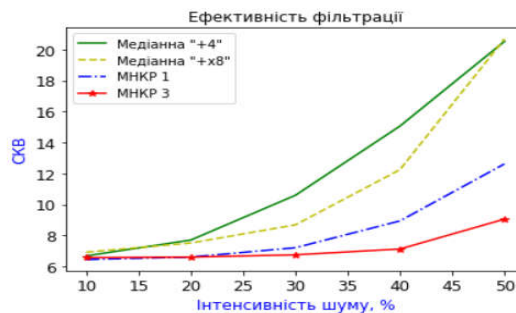
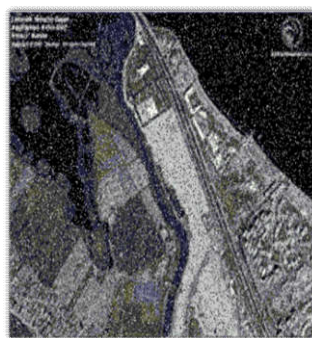


Рис. 13. Порівняльна характеристика ефективності фільтрації по параметру СКВ від степені зашумленості різними методами

Як видно з рисунків (рис.12), якість зображення та деталізація збільшились, що надає зображенню додаткової реалістичності. Можна покращити результати фільтрації зображень при комбінації запропонованих методів та застосуванні згорткових операцій. На рис.14 наведений результат фільтрації зображення фотографії місцевості, зробленої з супутника (режим доступу <https://www.ijert.org/research/removal-of-salt-and-pepper-noise-from-satellite-images-IJERTV2IS110634.pdf>), яке вражене імпульсними завадами. Показано, що застосування звичайної медіанної фільтрації не дає бажаного ефекту, оскільки призводить до погіршення чіткості зображення. Тому було застосовано фільтрацію новим методом МНКР-3 (кількість сусідніх пікселів фільтрації 8, фільтрація шуму типу «Сіль»), далі була збільшена чіткість зображення при застосуванні згорткового фільтра K_1 , і, окрім того, додаткова медіанна фільтрація типу («+» - 8). В результаті отримано відфільтроване зображення, максимально наближене до оригіналу, чого неможливо досягнути при застосуванні стандартних інструментів онлайн-сервісів та відомих графічних редакторів.



Оригінальне зображення



Зображення з імпульсним шумом

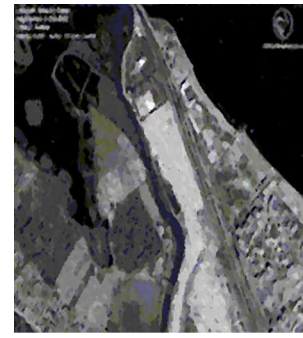
Фільтрація методом МНКР-3, кількість сусідніх пікселів фільтрації 8, режим фільтрації - «Сіль», додаткова обробка фільтром згортки K_1 , медіанна фільтрація типу («+» - 8)

Рис. 14. Результат фільтрації зображень при додатковому застосуванні згорткових операцій

Висновки

У роботі створений інтернет-сервіс фільтрації зображень на основі запропонованого нового методу найменших кінцевих різниць, що складає наукову новизну роботи та дозволяє покращити процедуру відновлення даних у порівнянні з відомими методами, зокрема з методом медіанної фільтрації, який є типовим інструментом багатьох графічних додатків.

Проведені дослідження ефективності запропонованого методу при впливі шумів різних типів та інтенсивності по критеріям візуального сприйняття, параметра СКВ та параметра відношення сигнал/шум. Ці показники вказують, що новий підхід обробки даних при їх спотворенні імпульсними шумами значно випереджає відомі результати.

Практична значущість роботи полягає у розробці інтерактивного інтернет-сервісу, який може застосовуватись для вивчення і дослідження процесів фільтрації зображень, відновленні даних при пошкодженні імпульсним шумами, у науково-дослідницьких проектах при виконанні процедур фільтрації зображення без погіршення їх якості.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробці і дослідженні нових методів фільтрації інших типів шумів.

Перевагою створеного інтернет-сервісу є реалізація гнучких та ефективних функцій фільтрації цифрових зображень, яка відсутня у загальновідомих графічних пакетах *Adobe PhotoShop, Paint, GIMP* та ін.

Окрім того, запропоновані рішення у вигляді інтернет-сервісу є гарним компромісом між простотою практичної реалізації і якістю фільтрації у порівнянні з потужними, але складними для реалізації та ресурсоемними системами обробки зображень.

Список літератури

1. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007.
2. Вовк С.М., Гнатушенко В.В., Бондаренко М.В. Методи обробки зображень та комп'ютерний зір. Дніпро: ЛІРА, 2016.
3. Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А. Цифровая обработка изображений в информационных системах. Новосибирск: НГТУ, 2000.
4. Торубка Т.В., Пуйда В.Я. Метод видалення адитивних шумів на зображеннях літальних апаратів. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка" – Комп'ютерні системи та мережі*. 2013. № 773. С.131-136,
5. Білинський Й.Й., Ратушний П.М. Методи та система оброблення слабконтрастних зображень для оцінювання показників мікрокапілярів кінцівок людини. Вінниця: ВНТУ, 2012.
6. Кветний Р.Н., Богач І.В., Бойко О.Р. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 2. Вінниця: ВНТУ, 2013.
7. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2012.
8. Van Trees H.L., Bell K.L. Bayesian Bounds for Parameter Estimation and Nonlinear Filtering/Tracking. Piscataway, NJ: Wiley-IEEE Press, 2007.
9. Burger W., Burge M.J. Principles of Digital Image Processing. Advanced Methods. London: Springer-Verlag, 2013.
10. Sharma V., Soni D., Srivastava D. Filtration Based Noise Reduction Technique in an Image. *4th International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages (IoT-SIU)*, 2019.
11. Hsu Ch.Y., Tsui T.S., Yu S.S., Tseng K.K. Salt and Pepper Noise Reduction by Cellular Automata. *Int. J. of Applied Science and Engineering*. 2011. V.9, No. 3, P. 143-160.
12. Zhang Y., Liu Y., Li X., Zhang C. Salt and pepper noise removal in surveillance video based on low-rank matrix recovery. *Computational Visual Media*. 2015. V.1, No.1, P. 59-68.
13. Jin L., Liu H., Zhang W., Song E. Video oriented filter for impulse noise reduction. *Journal of Visual Communication and Image Representation*. 2018. V.55, P.1-11.
14. Палагін В.В., Івченко О.В., Ведерніков Д.А. Статистичне оцінювання параметрів негаусових корельованих випадкових процесів. Черкаси: ФОП Гордієнко Є.І., 2018.
15. Palahin V., Juhár J. Joint Signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization. *Journal of Electrical Engineering*. 2016. V.67, No.3.P.217–221.

METHOD OF PULSE NOISES FILTRATION ON VIDEO IMAGESD. Palahin¹, O. Palahina², V. Palahin³, O. Zorin⁴, O. Hozhyi⁵¹⁻⁴Cherkasy State Technological University

Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, Ukraine, 18005

⁵Cherkasy scientific research forensic centre MIA of Ukraine

Pasterivska st., 104, Cherkasy, Ukraine, 18000

e-mails: mr.padi111@gmail.com¹, palahina@ukr.net², palahin@ukr.net³,snjzrin@gmail.com⁴, hozhyi@ndekc.ck.ua⁵

In the process of forming and transmitting images through communication channels, they are exposed to various types of noise, which in some cases leads to deterioration of visual quality and loss of areas of images. Reducing such defects is an urgent task in many applications in filtering and recovering data. Methods and technologies of data recovery in digital image filtering problems have been studied, which made it possible to formulate the main directions of improving data recovery processes without deteriorating their quality. Known classical filtering methods, such as the median filter, Gaussian filter, Wiener filter and others, used in known modern image processing software packages, often do not have satisfactory efficiency in processing specific types of noise and often lead to partial loss of useful signal. The aim of the work is to increase the efficiency of image filtering in the development of a new method of the smallest finite differences and the creation of an interactive web service for its implementation. The proposed method of filtering allows you to effectively eliminate pulsed noise from video data, taking into account a priori information about the noise without significant distortion of useful information. The found quantitative characteristics of the evaluation of the efficiency of the method show better results of pulse noise filtering in the image in comparison with the known ones. During the development of the method, a physic-mathematical interpretation of the recovery of digital images when interacting with additive pulse noise was used, and a gradient analysis model was used using the final differences of the pixel values of the images. The proposed algorithm is used to restore test images, the analysis of digital processing in comparison with other known methods using quantitative and qualitative characteristics. The advantage of the created Internet service is the implementation of flexible and efficient functions of digital image filtering, which is absent in the well-known graphics packages Adobe Photoshop, Paint, GIMP and others. In addition, the proposed solutions in the form of an Internet service are a good compromise between ease of implementation and quality of filtering, compared to powerful but difficult to implement and resource-intensive image processing systems.

Keywords: digital images, pulse noise, data filtering and recovery, gradient analysis.

**РОЗРОБКА ВЕБ-СЕРВІСУ ДИНАМІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ПРОГНОЗУ
БЮДЖЕТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ІСТОРІЇ КОРИСТУВАЧА****К.О. Писаренко, Т.В. Оніщенко, О.С. Пригожев**Національний університет «Одеська політехніка»
пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна; e-mail: horodnychaya@op.edu.ua

Планування бюджету завжди було і залишається важливою частиною життя будь-якої людини. Метою даної роботи є збільшення заощаджень користувача за рахунок використання розробленого веб-сервісу для динамічного формування прогнозу, який оснований на базовій моделі користувача та автоматичному підборі комбінацій методів прогнозування в кожному конкретному випадку шляхом аналізу якості та кількості історії користувача. Правильний розподіл доходів, планування витрат і збільшення накопичень залишаються досить актуальними питаннями. Правильне складання бюджету та витрат вимагають все більше зусиль, спрямованих на досягнення високої якості відповідних прогнозних оцінок. Крім того, питання в цих сферах пов'язані з високим ступенем невизначеності. При аналізі таких процесів головною проблемою є можливість генерувати якісні прогнози. Через вади існуючих рішень запропоновано розробити власний веб-сервіс динамічного формування прогнозу бюджету в залежності від історії користувача. У роботі запропоновано власні моделі, проаналізовано важливість кожного з елементів моделі, показано як базова модель бюджету трансформується в користувальницьку модель, показано використання моделей в методі динамічного формування прогнозу. Завдяки використанню розроблених моделей, метод дозволяє для кожного конкретного випадку враховуючи окремі позначені елементи для побудови прогнозу. Представлений метод аналізує якість та кількість історії користувача та автоматично підбирає комбінацію методів прогнозування в кожному конкретному випадку для вирішення економічних та фінансових питань користувачів. Проаналізовано збільшення заощаджень сімей після використання розробленого веб-сервісу, заснованого на запропонованих моделях. Аналіз показав середнє збільшення заощаджень в 1,3 рази серед 74 сімей в порівнянні з кількістю заощаджень без використання розробленого веб-сервісу, заснованого на запропонованих моделях та методі.

Ключові слова: прогнозування, інформаційні технології, веб-сервіс, бюджет, фінансові ризики, невизначеність

Вступ

Правильний розподіл доходів у всі часи був і залишається досить актуальним питанням. Для раціонального використання доходів необхідно правильно скласти бюджет і продумати витрати, для досягнення необхідних заощаджень. Це вимагає все більше зусиль, спрямованих на досягнення високої якості відповідних прогнозних оцінок. Крім того, питання в цих сферах пов'язані з високим ступенем невизначеності. При аналізі таких процесів головною проблемою є можливість генерувати якісні прогнози.

Огляд літератури

Перед початком розробки докладно було вивчено питання фінансових рішень: систематизація фінансового стану, фінансові питання в період економічної нестабільності та створення оптимального плану використання коштів [1-2], умови аудиту за кордоном [3], основні етапи ІТ-аудиту [4-5], системи управління бюджетом у

зарубіжних нафтових проектах [5], відомі рішення [4-7], вплив невизначеності [8], джерела доходів та витрат [9-12], питання формування та панування бюджету [12-17], існуючі рішення з прогнозування, що використовуються [18-21].

Розглянемо використані джерела більш докладніше.

У статті [1] описується програмний продукт, що дозволяє користувачеві організувати необхідну інформацію про бюджет та отримати важливу інформацію про його фінансовий стан. Однак описаний програмний продукт розрахований тільки на членів однієї сім'ї, крім того, він дозволяє аналізувати тільки витрати і доходи, формувати статистичні звіти. У статті [2] розглядається важливість збереження бюджету в період економічної нестабільності та створення оптимального плану використання коштів. Описано негативні наслідки нехтування формуванням бюджету. У роботі пропонується використати математичне рішення задачі формування плану на основі задачі «0-1» пакування рюкзака. У статті [3] аналізуються умови проведення ІТ-аудиту в Китаї та за кордоном, основні етапи ІТ-аудиту, орієнтованого на дані.

У роботі [4] представлено метод аудиту соціального забезпечення та описано його процес. Стаття [5] присвячена системі управління бюджетом в зарубіжних нафтових проектах, розроблено систему щорічного бюджетування та контролю для зарубіжних проектів, яка включає AFE, Cash Call, LOA, письмове коригування бюджету, аналіз бюджету, контроль закупок, управління проектами, контроль та аудит ERP системи. У роботі [6] розроблено двофазну градієнтну техніку. Вона була розроблена для вирішення проблеми розподілу бюджету збору даних при вимірюванні ефективності DEA. У роботі [7] досліджуються платформи, методології та процеси, які використовуються кредиторами для оцінки кредитоспроможності та прийняття кредитних рішень. Він пропонує чотири основні категорії бізнес-моделей, представлених матрицею 2×2 . У статті [8] досліджується вплив боргу в умовах невизначеності за допомогою триетапної моделі гри.

Доходи можуть надходити з різних джерел [9-10], а також на видатки можуть впливати різні фактори [11]. У працях [9-10] показані основні джерела надходжень сімейного бюджету. Ці джерела, серед інших, також можуть бути використані в цій роботі. Крім того, у роботі [11] запропоновано класифікацію доходів і витрат особистих осіб, розглянуто методи їх оцінки та обліку для складання бюджету домогосподарства. Запропонована в роботі [11] модель є спрощеним уявленням сімейного бюджету.

У роботі [12] представлені проблеми інфляції в Україні та їх вплив на заощадження. У статті [13] наведено результати дослідження переваг клієнтів банків при формуванні та плануванні бюджету. Висвітлено критерії аналізу витрат громадян різного віку. Розглядаються такі категорії, як сімейний бюджет, витрати на дитину, пенсійні заощадження тощо. У роботі [14] досліджуються проблеми формування сімейного бюджету українця. У роботі [15] розроблена модель розподілу капітального бюджету між організаційним та фізичним капіталами фірми.

У роботі [16] наведено аналіз фінансової звітності за період 1991-2015 рр. та напрямки майбутніх досліджень у відносно новій сфері організаційного капіталу. Компанії, які мали стабільну політику та встановлювали більший пріоритет у своєму бюджеті для організаційного капіталу, мали кращі фінансові результати протягом 25 років дослідження. На основі аналізу була розроблена модель капітального бюджету фірми. У роботі [17] розглянуто модель ключових елементів багатовекторної методології управління розвитком фінансового сектора, описано схему формування багатовекторної бюджетної політики та взаємодію багатовекторної моделі бюджету з моделями місцевого бюджету.

З вищезгаданих матеріалів можна зробити висновок, що сучасні фінансові та економічні процеси часто характеризуються складними елементами, містять нестационарні та нелінійні компоненти, які вимагають створення спеціальних математичних моделей для їх адекватного математичного опису та прогнозування. Для

успішного вирішення таких завдань необхідно будувати відповідні системи підтримки прийняття рішень, методи та моделі.

Від методів прогнозування у таких сферах потрібно враховувати динаміку таких процесів та невизначеність пов'язану з нестачею даних. На сьогоднішній день існує ряд рішень, спрямований на динамічне прогнозування, але вони коштують дуже дорого, вимагають тривалої спеціальної підготовки для вирішення конкретних завдань та вимагають для реалізації високорозвинених сучасних комп'ютерів [18-21]. Через такі особливості такі системи можуть застосовувати лише великі підприємства, через що виключається їх широке використання.

Зважаючи на ці проблеми доцільно розробити і використовувати на практиці більш просте і набагато менш витратне моделювання. Для широкого використання, з одного боку, потрібно забезпечити функціональну повноту, достовірність та точність прогнозу, а з іншого – зменшити витрати часу та коштів на прогнозування. Основне завдання прогнозування у даному випадку – визначення з достатньою мірою достовірності реальних доходів.

Виходячи з вищесказаного, пропонується розробити власний веб-сервіс, який базуватиметься на власних моделях та методі динамічного формування прогнозу. Пропонується досягти якісного прогнозування за допомогою комбінації відомих методів на основі накопиченої історії користувача.

Мета та задачі роботи

Метою даної роботи є збільшення заощаджень користувача за рахунок використання розробленого веб-сервісу для динамічного формування прогнозу, який оснований на базовій моделі користувача та автоматичному підборі комбінацій методів прогнозування в кожному конкретному випадку шляхом аналізу якості та кількості історії користувача.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Формалізувати моделі для розробленого методу та веб-сервісу динамічного формування прогнозу.
2. Формалізувати метод динамічного формування прогнозу в залежності від історії користувача.
3. Проаналізувати використання розробленого веб-сервісу.

В останньому розділі наведено аналіз роботи розробленого веб-сервісу «Saving wisely». Для його успішної роботи розроблено базову модель доходів, базову модель витрат, базову модель користувача, базову модель бюджету, базову модель сімейного бюджету, метод динамічного формування прогнозу, що продемонстровано у відповідних розділах.

Формалізація моделей для розроблених методу та веб-сервісу динамічного формування прогнозу

На доходи та витрати сім'ї можуть впливати: кількість членів сім'ї, демографічний склад сім'ї, зайнятість членів сім'ї, рівень доходу, місце проживання, наявність житла тощо. До доходів може входити заробітна плата, пенсія, стипендія, домогосподарство, оренда нерухомості, погашення боргу тощо [9-11].

Доходи можна поділити на трудові, інвестиційні, соціальні. Так, наприклад, трудовий дохід може включати заробітну плату та дохід від продаж для приватних підприємців, інвестиційний дохід може включати погашення боргу, оренду нерухомості тощо, соціальний – пенсії та допомоги.

Витрати, у свою чергу, можна розділити на обов'язкові та необов'язкові. Так, наприклад, до обов'язкових витрат в першу чергу входять витрати на харчування та

здоров'я, потім – комунальні платежі, кредити, погашення боргу, до необов'язкових – розваги.

Крім того, витрати можуть бути постійними або непостійними. Так, наприклад, витрати на розваги можуть бути не щомісяця, а ось витрати на харчування доведеться враховувати щомісяця.

Виходячи з цього, в даній роботі запропоновано базову модель бюджету, яка включає базові моделі доходів і витрат. На основі цих моделей також був розроблений веб-сервіс. Це дозволить користувачам більш ретельно аналізувати свої доходи та витрати та збільшити суму заощаджень.

На основі наведених вище даних представимо базову модель доходів *I* та базову модель витрат *E*.

Базова модель доходів *I*

В базову модель доходів включені тільки найбільш поширені джерела доходів:

1. Трудові доходи: зарплата/дохід від продажу, доходи від продажу.
2. Інвестиційні доходи: погашення боргу, здача/продаж нерухомості.
3. Соціальні доходи: допомога, пенсія, стипендія.
4. Додаткові доходи. Для користувачів, у яких є додаткові джерела доходу, є можливість додати ці джерела в модель.

За замовчуванням в базовій моделі доходів обов'язково повинні бути введені, хоча б один із трудових або соціальних джерел доходів. Для приватних підприємців пропонуються в якості доходів від продажу використовувати або елемент «зарплата» *S* або елемент «дохід від продажу» *SP*, за бажанням користувача. Для користувачів, які не є приватними підприємцями, пропонується в елемент «дохід від продажу» *SP* вносити рідкі продажі необхідного майна.

$$I = \langle S, SP, DR, RE, SE, AL, P, SCH, AI \rangle, \quad (1)$$

де *S* – зарплата/дохід від продажу, *SP* – доходи від продажу, *DR* – погашення боргу, *RE* – здача нерухомості, *SE* – продаж нерухомості, *AL* – допомога, *P* – пенсія, *SCH* – стипендія, *AI* – додаткові доходи, які додає користувач.

На рисунку 1.А показано приклад базової моделі доходів. Кожен користувач перед тим, як почати користуватися додатком, обирає елементи які він використовуватиме, може додавати власні елементи. Базова модель доходів, яку користувач змінює відповідно до своїх потреб, буде називатися моделлю доходів користувача. Завершена модель потім копіюється з місяця в місяць. Приклад моделі доходу користувача показано на рисунку 2.А. При необхідності модель доходу користувача можна змінити у відповідному пункті меню.

Базова модель витрат *E*

До базової моделі витрат включено лише найпоширеніші джерела витрат:

1. Постійні (обов'язкові): харчування, господарські витрати, комунальні платежі, зв'язок (мобільний, інтернет), плата за навчання, плата за кредитами, додаткові витрати, які вводить користувач.

2. Непостійні (необов'язкові): культурні витрати, розваги та відпочинок, додаткові витрати, які вводить користувач.

До необов'язкових додаткових витрат може належати, наприклад: утримання автомобіля: оплата бензину, ремонт, заміна запасних частин, оплата стоянки тощо; придбання одягу; для школярів: кишенькові гроші; подарунки; ремонт квартири; придбання меблів/техніки.

3. Медичне обслуговування. Медичне обслуговування у моделі оцінюється окремим елементом. Так як медичне обслуговування може бути договором медичного страхування (яке оплачується щорічно) або до нього може відноситися оплата приватних консультацій чи планові огляди.

За замовчуванням обов'язковими є лише харчування, комунальні послуги та зв'язок. Інші витрати користувач може зробити обов'язковими за бажанням. До необов'язкових витрат відносяться культурні витрати, розваги, відпочинок та додаткові витрати, які може додати користувач.

$$E = \{\{N, U, C\}, TF, LP, AC, \{CE, R, NAC\}, M\}, \quad 2)$$

де N – харчування, U – комунальні послуги, C – зв'язок, TF – плата за навчання, LP – плата за кредитами, AC – обов'язкові додаткові витрати, які вводить користувач, CE – культурні витрати, R – розваги та відпочинок, NAC – необов'язкові додаткові витрати, які вводить користувач, M – медицина.

На рисунку 1.В показано приклад базової моделі витрат. Перед початком використання веб-сервісу пропонується вибрати статті витрат, що використовуються найчастіше. Хоча це і не обов'язково, завдяки цьому користувачеві буде набагато легше та швидше працювати з веб-сервісом. Це досягається за рахунок того, що користувачеві не доводиться щомісяця вибирати необхідні елементи з великого переліку елементів базової моделі витрат. Базову модель витрат, яку користувач змінює відповідно до своїх потреб, будемо називати моделлю витрат користувача. Модель витрат користувача потім копіюється з місяця в місяць. Приклад моделі витрат користувача показано на рисунку 2.В. При необхідності модель витрат користувача можна змінити у відповідному пункті меню.

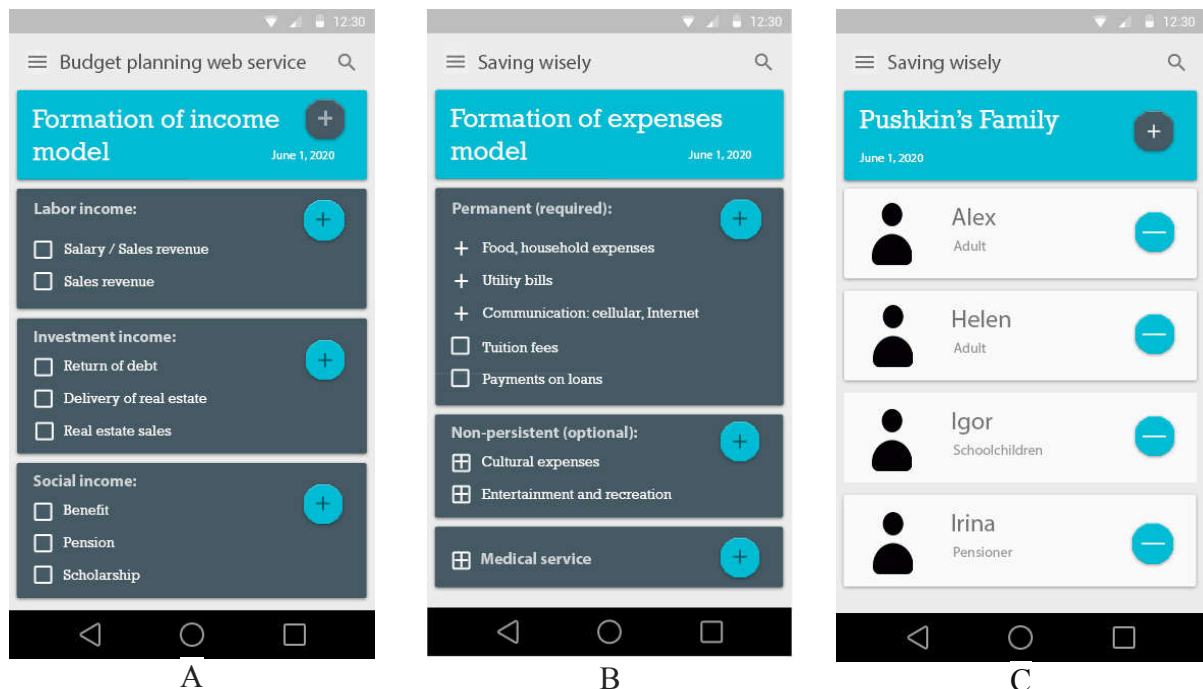


Рис. 1. Інтерфейс веб-сервісу для: А) зміни моделі доходу; В) зміни моделі витрат; С) формування сім'ї та розподіл ролей

Базова модель користувача U

Розроблений веб-сервіс і метод динамічного формування прогнозу в першу чергу базуються на базовій моделі користувача. Базова модель користувача U може відрізнятися залежно від області застосування та розробляється окремо для кожного

конкретного застосування. При використанні методу динамічного формування прогнозу кожен елемент моделі позначається за ступенем важливості.

Базова модель користувача B має наступну форму:

$$B = \{oEi, vEi, nEi\}, i = 0..k, \quad (3)$$

де E - елемент моделі, o - необхідні елементи, v - важливі елементи, n - необов'язкові елементи, k - кількість елементів.

Так, наприклад, в одних випадках один елемент може бути позначений як обов'язковий, в інших - кілька. Кількість елементів, які позначені як обов'язкові та важливі, визначає, скільки елементів потрібно буде заповнити вручну, якщо історія користувача ще не накопичена, але користувач вже хоче зробити прогноз. У цьому випадку (у разі використання веб-сервісу сімейного бюджету «Saving wisely») базовою моделлю користувача B є базова модель бюджету.

Базова модель бюджету B

Базується на даних від одного користувача:

$$B = \{oC, oI, vS, vE\}, \quad (4)$$

де C - країна, I - доход, S - заощадження, E - витрати.

Базова модель сімейного бюджету S

Базова модель сімейного бюджету S складається з безлічі моделей доходів та витрат членів сім'ї та від неї залежать моделі конкретного користувача:

$$S = \bigcup_{i=1}^p (k_i, tk_i, B_i), \quad (5)$$

де k - користувач, tk - тип користувача з точки зору прав доступу, p - кількість користувачів у групі «Сім'я», B - базова модель бюджету.

У групі «Сім'я» можна розподілити ролі (рис. 1.С):

1. Дорослий. Цій групі користувачів надаються основні елементи моделей доходів і витрат. Ця група може зробити деякі елементи моделей невидимими для решти членів сім'ї.

2. Школяр. Наприклад, базовою моделлю доходу школяра можуть бути кишенькові гроші. Крім того, користувач із роллю «дорослий» може створити статтю витрат «Витрати на дитину». У цьому випадку для користувача з роллю «школяр» бюджетна модель буде сформована відповідно до пункту «Витрати на дитину» для користувача «дорослий».

3. Студент. Наприклад, базова модель доходу студента може складатися із стипендії, підробітку або кишенькових грошей.

4. Пенсіонер. Наприклад, базова модель доходу пенсіонера може складатися із зарплати та/або пенсії.

Формалізація методу динамічного формування прогнозу в залежності від історії користувача

Метод динамічного формування прогнозу заснований на якості та кількості історії користувача. Залежно від кількості якісної інформації в історії користувача динамічно вибирається необхідний метод прогнозування або набір таких методів [22]. Якість історії користувача поділяється на два типи: історія, заповнена користувачем, і історія, накопичена з часом. Існує кілька випадків повноти історії користувача:

- Існуюча історія користувача.

• Початок формування історії користувача. У цьому випадку, для роботи метода динамічного формування прогнозу користувач повинен заповнити необхідну інформацію. У цьому випадку прогноз буде формуватися не на накопиченій історії користувача, а на даних, які він введе самостійно. У деяких випадках це може призвести до певної похибки, про яку користувач буде повідомлений. Залежно від необхідної точності прогнозу, користувач може обрати один з двох варіантів: базове заповнення або детальне заповнення необхідної інформації в ручному режимі. У разі базового заповнення користувачеві буде представлена невелика серія запитань, на які йому потрібно буде дати відповіді. У разі детального заповнення, ряд питань буде розширено. Для використання цього етапу необхідно сформувати базові моделі, які описуватимуть інформацію, яку необхідно заповнити в кожному конкретному випадку. Базове заповнення менш точне, ніж детальне. Якщо користувачеві не потрібен «терміновий» прогноз, то не потрібно відразу заповнювати дані, надалі прогноз буде формуватися автоматично на основі накопиченої історії за вказаний період.

На основі представлених моделей метод динамічного формування прогнозу набуває такого вигляду [22]:

1. Визначення якості історії користувача
 - 1.1. Історії користувача немає. Користувачеві пропонується заповнити модель користувача – модель сімейного бюджету в ручному режимі – *S_p*. Перехід до п.2
 - 1.2. Існує заповнена в ручному режимі історія користувача *S_p*. Перехід до п.2.1.
 - 1.3. Існує накопичена історія користувача *S_n*. Перехід до п.2.2
2. Визначення кількості історії користувача
 - 2.1. Існує заповнена вручну історія користувача *S_p*.
 - 2.1.1. Користувач заповнив обов'язкові дані *S_p* – країну проживання та доход:
 - 2.1.1.1. Якщо $E_{sp} \geq I$, то $E = I$. Перехід до п. 2.1.2.3.
 - 2.1.1.2. Якщо $E_{sp} < I$, то $E = E_{sp}$. Перехід до п. 2.1.2.3.
 - 2.1.1.3. Прогноз будується за методом експоненційного згладжування
 - 2.1.2. Користувач заповнив обов'язкові та частину важливих даних *S_p* – країну проживання, доход, значення бажаного заощадження. Перевіряється, щоб середні витрати не були меншими за бюджет. У разі, коли ця умова виконана, пропонуються спрогнозовані витрати для категорій бюджету та категорії, на яких можна заощадити.
 - 2.1.2.1. Якщо $(E_{sp} + S) \leq I$, то пропонуються витрати для категорій бюджету та категорії, на яких можна заощадити. Перехід до п. 2.1.2.3.
 - 2.1.2.2. Якщо $(E_{sp} + S) > I$, то з'являється повідомлення про те, що можливо *S* вибрано неправильно, пропонується підтвердити *S*, пропонуються витрати для категорій бюджету та категорії, на яких можна заощадити. Перехід до п. 2.1.2.3.
 - 2.1.2.3. Прогноз будується за методом експоненційного згладжування
 - 2.1.3. Користувач заповнив дані детально *S_p*. Перевіряється, щоб витрати користувача не були меншими за його бюджет. Якщо умова не виконана, користувач повинен додатково підтвердити дані. Якщо користувач підтверджує дані, заповнена історія не враховується і прогноз витрат будується з урахуванням середніх витрат у цій країні. У випадку, якщо умова виконана, прогноз витрат будується за методом експоненційного згладжування або моделі експоненційного згладжування з трендом і сезонністю Хольта Вінтерса, залежно від наповненості даних. Користувач заповнив *E_n* - середня витрата користувача за місяць протягом року, самостійно в ручному режимі.
 - 2.1.3.1. Якщо $E_n < I$, то повідомлення про те, що можливо *E_n* вибрано невірно, пропонується підтвердити *E_n*. Якщо *E_n* підтверджено користувачем, *E_n* не враховується у розрахунках та $E = E_{sp}$. Перехід до п.2.2

2.1.3.2. Якщо $E_n > I$, то $E = E_n$. Перехід до п.2.2

2.2. Існує накопичена історія користувача S_n

2.2.1. Якщо S_n існує лише за кілька місяців, то прогноз будується за методом експоненційного згладжування

2.2.2. Якщо S_n існує за неповний цикл і не виявлено сезонність, то прогноз будується методом Хольта

2.2.3. Якщо S_n існує і зрозуміла тенденція зростання та падіння, то прогноз будується за моделлю експоненційного згладжування з трендом та сезонністю Хольта Вінтерса

Аналіз використання розробленого веб-сервісу

На основі запропонованих моделей та методу було розроблено веб-сервіс «Saving wisely». Розроблений веб-сервіс дає можливість виконувати прогноз доходів, витрат і заощаджень, враховуючи історію користувача, і на основі прогнозу будувати плани доходів, витрат і заощаджень. Або користувач може заповнювати плани самостійно.

Запропонований веб-сервіс дозволяє на основі базових, складати свої власні моделі, шляхом додавання нових елементів або заміни базових. Також розроблений веб-сервіс дозволяє запам'ятовувати клієнтську модель для зручності користувача.

Ведення моделей доходів та витрат дозволяє контролювати свої витрати та з більшою ефективністю робити накопичення. На початку кожного місяця користувач вносить план доходів та витрат. План витрат, доходів і накопичень може бути запропонований користувачеві на підставі прогнозу витрат і заощаджень, які були обчислені на основі історії користувача або заповнені користувачем.

На рисунку 2.А показано поточний прибуток за вересень, який трансформується із заповненої базової моделі доходів (рис. 1.А). Іноді доход може надходити з джерел, які користувач не додав до базової моделі. У цьому випадку їх можна додати, використовуючи спеціальний знак «+». Використовуючи «+» у верхньому куті, ви можете додати нові категорії джерел доходу: інвестиційні, соціальні. За допомогою «+» у кожній із категорій можна додати конкретне джерело доходу до кожної конкретної категорії. Аналогічно на рис. 2.В.

Користувач протягом місяця вводить у застосування свої поточні доходи та витрати. Якщо витрати починають перевищувати заплановані, користувач отримує повідомлення про це. Це дозволяє краще контролювати витрати та аналізувати потребу для кожної конкретної покупки. Наприкінці кожного місяця користувач отримує аналіз своїх реальних доходів, витрат і заощаджень і запланованих, що допоможе в майбутньому правильно спланувати зручність життя і при необхідності збільшити заощадження.

На рисунку 2.В показані поточні витрати за вересень, які трансформовані із заповненої базової моделі витрат (рис. 1.В). Нові джерела витрат можна додавати щомісяця за потреби.

Давайте детальніше розглянемо план доходів. Він може бути:

1. Статичний, в цьому випадку він автоматично копіюється з місяця в місяць.
2. Динамічний, у цьому випадку користувач вказує його щомісяця.

До плану доходів пропонується занести всі грошові надходження протягом поточного місяця. План витрат включає обов'язкові, заздалегідь визначені витрати, які ви плануєте здійснити в цьому місяці, та додаткові витрати.

Розроблений веб-сервіс дозволяє створити групу «Сім'я», яка буде складатися з певної кількості користувачів. Для цього кожен з користувачів повинен встановити застосування на свій телефон, ідентифікація також відбувається за номером телефону.

На рисунку 2.С показано приклад вересневого звіту для родини Пушкіних. Звіт містить інформацію про доходи, витрати, заощадження за вересень для всієї родини. Витрати на рис. 2.В і 2.С відрізняються, оскільки на рис. 2.В показані витрати за

вересень лише для користувача Alex. Різниця подібна між рис. 2.А і 2.С. Також на рис. 2.С є графік, який показує накопичення у відсотках для кожного місяця року. Слід зазначити, що за місяці, протягом яких додаток не використовувався, графік порожній. Якщо додаток був використаний, але за місяць накопичення дорівнюють нулю, вказується 0%. Також можливо перемикатися по місяцях за допомогою календаря у верхньому правому куті.

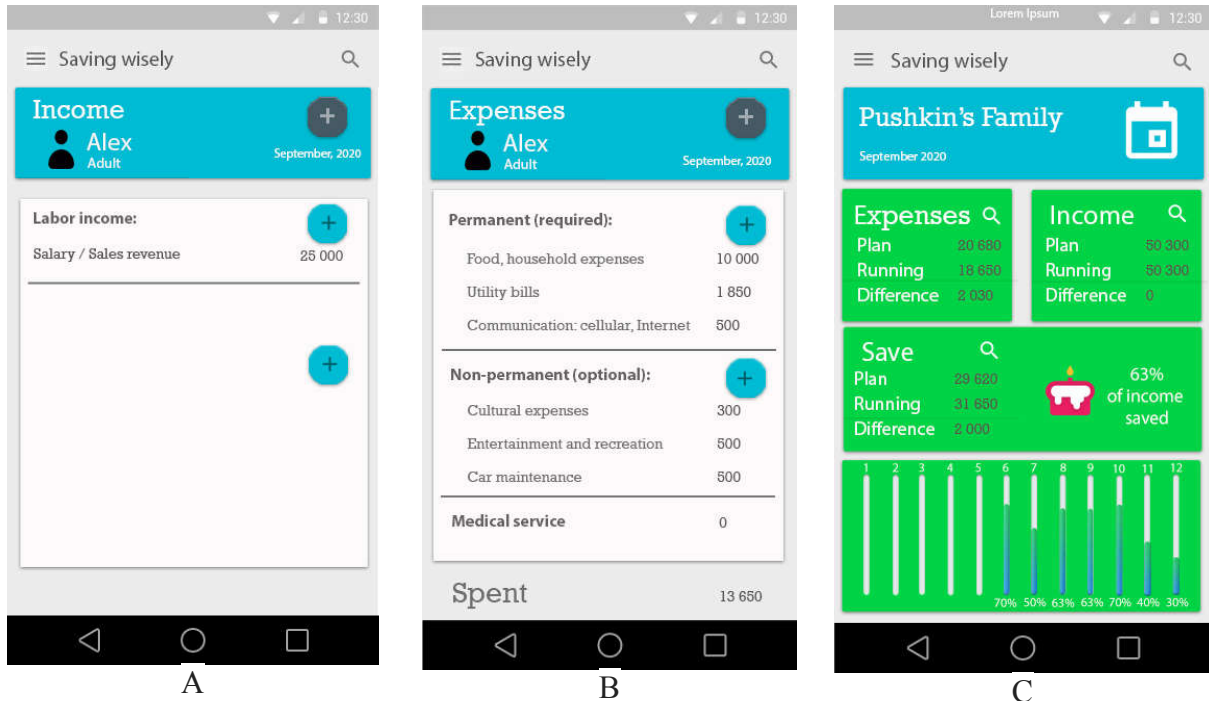


Рис. 2. Приклад заповнення: А) моделі доходу для «дорослого» користувача; В) моделі витрат для «дорослого» користувача; С) звіту про заощадження родини Пушкіних за вересень

Коли історія користувача накопичується, стає можливим не тільки прогнозувати витрати, доходи та заощадження на певний період часу, але й прогнозувати витрати для кожної з категорій у моделі витрат. Крім того, у будь-який момент можна побачити графік того, як збігаються план витрат і поточні витрати для сім'ї та окремого користувача.

Трансформація запропонованих моделей

На рисунку 3 показано, як трансформуються моделі. Під час першого входу в застосування користувачеві відкриваються базові моделі: приклади цих моделей вказані на рисунках 1.А-1.В. Користувач може налаштувати їх відповідно до своїх потреб, після чого вони стають моделями користувача і копіюються з місяця в місяць за замовчуванням.

Перше ліве зображення на рисунку 3 показує схему підключення всіх розроблених моделей, показуючи основні елементи кожної моделі. Базова модель сімейного бюджету включає базову модель бюджету для кожного користувача, який входить до сім'ї. Базова модель бюджету складається з базових моделей доходів і витрат. І в базовій моделі доходу, і в базовій моделі витрат можна доповнити моделі елементами користувача. Базова модель витрат складається з двох важливих частин - обов'язкових і необов'язкових витрат. При цьому користувач може доповнити кожен з частин своїми елементами. Однією з переваг цих моделей є те, що користувач може змінювати необхідні та додаткові елементи відповідно до своїх потреб, а також додавати власні до обов'язкових та необов'язкових елементів.

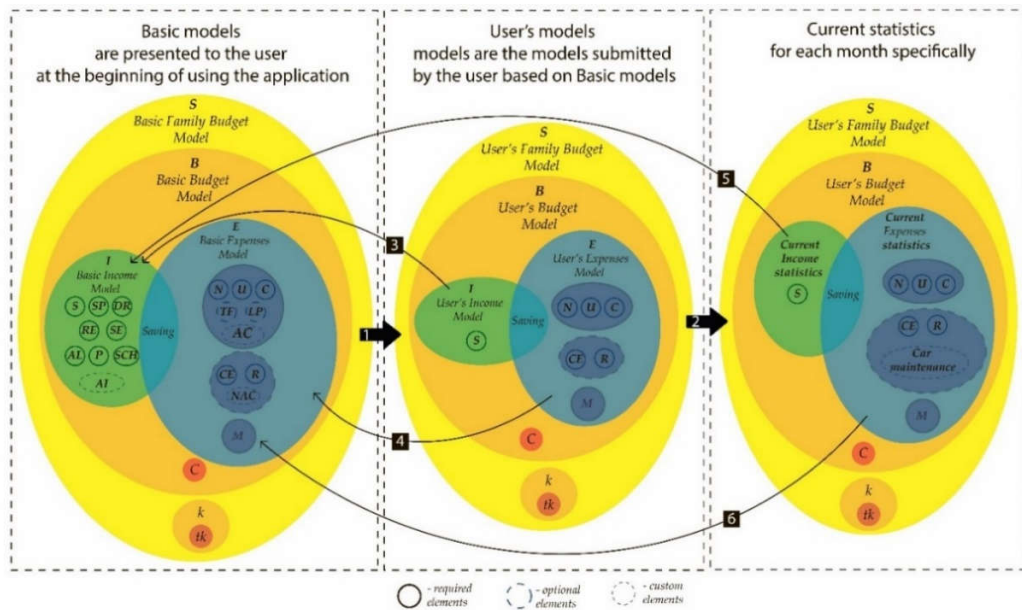


Рис. 3. Трансформація моделей

Стрілка 1 на рисунку 3 показує, що моделі користувача побудовані на основі базових моделей. Стрілка 2 на рисунку 3 показує, що налаштована користувачем модель копіюється для кожного наступного місяця.

Моделі користувача можуть бути змінені в будь-який час за бажанням користувача, як показано стрілками 3-4. У кожному конкретному місяці користувач може змінювати моделі користувача за потребою. Він може додавати різні витрати та заощадження в конкретному місяці, яких не було в моделях користувача, як показано стрілками 5-6. Це необхідно, оскільки ці додаткові доходи/витрати можуть відрізнятися в різні місяці, і користувачу не потрібно копіювати ці дані в кожному місяці.

На рисунку 3 показана трансформація моделей для користувача Alex з сімейства Пушкіних. Так, налаштовуючи моделі користувача (рис. 1.A-1.B), Alex залишив лише зарплату для моделі доходів користувача (рис. 2.A), а для моделі витрат користувача: харчування, комунальні послуги, зв'язок, культурні витрати, розваги та відпочинок, медицину. У вересні (рис. 2.B) він додав до поточної - вартість автомобіля. Спочатку цього не було в моделі витрат користувача, оскільки йому не потрібно щомісяця витрачати на це гроші і буде незручно, якщо цей елемент буде копіюватися щомісяця. У базовій моделі витрат елемент «вартість машини» представлено елементом *NAC*.

Аналіз необхідності використання елементів моделей

Було проведено дослідження серед 175 користувачів, які почали використовувати розроблений веб-сервіс. Всього в дослідженні взяли участь 74 сім'ї: 28 «Сімей», кожна з яких складалася лише з 1 користувача; 17 «Сімей» по 2 користувача в кожній, що складається з користувачів типу «дорослий»; 5 «Сім'ї», по 2 користувача в кожній, що складається з користувачів типу «пенсіонер»; 8 «Сімей» по 4 користувача в кожній; 7 «Сімей» по 3 користувача в кожній; 4 «Сім'ї» по 5 користувачів у кожній; 5 «Сімей» по 6 користувачів у кожній. Різні «сім'ї» використовували веб-сервіс від трьох до шести місяців.

У таблиці 1 наведено аналіз, який було проведено для підтвердження необхідності використання елементів у моделях. Було проведено опитування серед дорослих користувачів, щодо необхідності використання елементів базової моделі витрат. Ці результати відображено в стовпцях А, С та Е таблиці 1, вони показують відсоток користувачів, які обирали позитивну відповідь. Після використання розробленого веб-сервісу були зібрані дані про те, як часто елементи моделі використовувалися користувачами, що відображено в стовпцях В, D та F таблиці 1. Загалом, аналіз

показав, що всі елементи є достатньо використовуваними та необхідними в базовій моделі витрат.

Аналіз необхідності використання необов'язкових елементів базової моделі витрат

Після використання розробленого веб-сервіса були зібрані дані про те, як часто елементи моделі використовувалися користувачами, що відображено в стовпці В. Можна помітити, що в деяких випадках перед використанням програми деякі елементи оцінюються користувачами як менш важливі. Наприклад, елемент *TF* використовувався набагато частіше, ніж думали користувачі. Невелике використання елемента *M* пояснюється менталітетом людей України, до якої належали користувачі, а *LP* – вибіркою. Невеликий відсоток (порівняно з іншими елементами) *NAC* пояснюється тим, що найважливіші додаткові елементи вже додано до моделі.

Аналіз необхідності використання необов'язкових елементів базової моделі доходів

Для аналізу необхідності використання необов'язкових елементів базової моделі доходів їх було поділено на дві групи:

1. Використовує лише певна група осіб, але на постійній основі: оренда майна, допомога, пенсія, стипендія. При цьому такі доходи, як оренда нерухомості, найчастіше належать всій родині, а допомога, пенсія та стипендії – конкретному користувачеві (стовпці С, D).

2. Використовують різні групи людей, але не на постійній основі: доходи від продажу, продажу нерухомості. Причому такі доходи найчастіше стосуються всієї родини, а не конкретного користувача (стовпці Е, F).

Елемент *AI* може використовуватися і в моделі користувача. У цьому випадку користувач додає новий елемент, який щомісяця копіюється. Або користувач іноді може додати цей елемент до регулярних витрат. Тому в таблиці 1 стовпці D і F для елемента *AI* містять такі значення. Це пов'язано з тим, що деякі користувачі додали елемент *AI* в модель користувача та використовували його щомісяця, а також додали додаткові елементи *AI* до своїх поточних витрат.

Таблиця 1

Аналіз використання необов'язкових елементів

базової моделі витрат			першої групи базової моделі доходів			другої групи базової моделі доходів		
	A	B		C	D		E	F
<i>TF</i>	53%	72%	<i>SP</i>	100%	48%	<i>RE</i>	56%	36%
<i>LP</i>	26%	23%	<i>DR</i>	78%	23%	<i>AL</i>	68%	25%
<i>AC</i>	68%	36%	<i>SE</i>	12%	92%	<i>P</i>	65%	23%
<i>R</i>	97%	92%	<i>AI</i>	100%	48%	<i>SCH</i>	89%	35%
<i>NAC</i>	34%	25%				<i>AI</i>	100%	12%
<i>M</i>	64%	23%						

Аналіз використання розробленого методу

Результати роботи розробленого методу показані на прикладі його використання для веб-сервісу «Saving wisely». Було проаналізовано відгуки 100 користувачів, які використовують веб-сервіс, з них: 56 користувачів заповнили значення витрат самостійно та 44 користувача мали накопичені дані щодо витрат під час використання веб-сервісу. Деякі дані користувачів з обох груп було винесено для демонстрації на рисунок 4.

На рисунку 4 показані: цифрами 1-15: 15 із 56 користувачів з різним рівнем доходів, які при першому заході у застосування вводили свої дані; цифрами 16-30: 15 із

44 користувачів із різним рівнем доходів, у яких для прогнозу використовувалася накопичена історія за місяцями. Кількість введених даних для користувачів 1-15 та кількість місяців для користувачів 16-30 вказано у полі «Обсяг даних, що впливають на прогноз». Як видно з рисунка точність прогнозу залежить від кількості використаних даних. В результаті було виявлено, що прогноз у середньому на 85% відповідав реальним витратам користувачів після кінця закінчення періоду, для якого проводився прогноз [23].

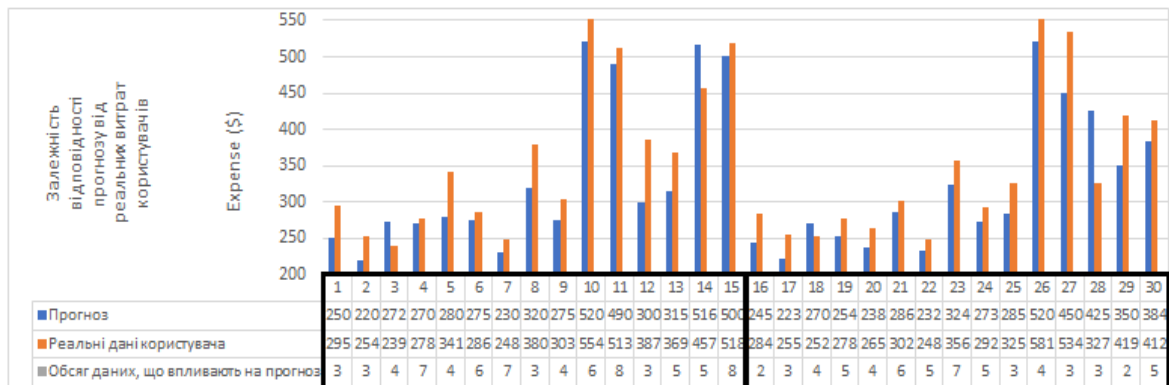


Рис. 4. Діаграма залежності відповідності прогнозу реальним витратам користувачів

Висновки

У статті продемонстровано розроблений веб-сервіс «Saving wisely» для збільшення заощаджень користувачів за рахунок використання розробленого методу динамічного формування прогнозу, який базується на моделі бюджету користувача та автоматичного підбору комбінацій методів прогнозування в кожному конкретному випадку шляхом аналізу якості та кількості історії користувача.

Базова модель бюджету трансформується в користувальницьку: користувач може для зручності видалити деякі елементи моделей або додати свої (рис. 3). Модель користувача необхідна для його зручності: немає необхідності щомісяця змінювати базову модель відповідно до потреб. Крім того, було враховано, що користувач може мати нові доходи та витрати, що теж враховується.

Для оцінки розроблених моделей, на яких базується розроблений метод та веб-сервіс, було проведено аналіз необхідності включення елементів у запропоновані моделі. Для оцінки потреби в елементах, веб-сервісом користувалися 175 користувачів протягом 3-6 місяців. На початку використання програми всім дорослим користувачам задавали питання про необхідність елементів моделі, через 3-6 місяців використання програми було проаналізовано частоту використання користувачами елементів моделі. Цей аналіз підтвердив, що всі запропоновані елементи моделі використовуються в достатній мірі.

Також розроблено метод динамічного формування прогнозу, який аналізує якість та кількість історій користувача та автоматично підбирає комбінації методів прогнозування в кожному конкретному випадку для вирішення економічних та фінансових питань користувачів. Метод заснований на запропонованих моделях, що дозволяє для кожного конкретного випадку окремо з урахуванням відзначених елементів, будувати прогноз.

Було проаналізовано відгуки 100 користувачів, які використовують веб-сервіс, з них: 56 користувачів заповнили значення витрати самостійно та 44 користувача мали накопичені дані щодо витрат під час використання веб-сервісу. В результаті було виявлено, що прогноз у середньому на 85% відповідав реальним витратам користувачів після закінчення періоду, для якого проводився прогноз.

Крім того було проведено аналіз заощаджень 175 користувачів після використання веб-сервісу. У середньому кожній родині вдалося збільшити свої заощадження в 1,3 рази порівняно з сумою, що була заощаджена без використання розробленого веб-сервісу.

Список літератури

1. Яремко О., Кунанець Н. Розроблення інноваційного ІТ-стартапу програмного продукту «Помічник сімейного бюджету» ("Family budget helper"). *Proceedings of the eleventh international scientific-practical conference Internet-Education-Science*. м. Вінниця, 22 - 25 травня 2018 р. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 181-183.
2. Бабенко І. С. Актуальність використання математичних методів у формуванні плану сімейного бюджету. *Матеріали XI Міжнародної наукової інтернет-конференції «Питання сучасної науки і освіти»*. 2015. С. 2-7
3. Wei C., Hao W., Wenming. Study on data-oriented it audit used in China. *Proceedings of the 11th Joint International Computer Conference*. New Jersey: World Scientific Pub, 2005. P. 666-669. DOI: 10.1142/9789812701534_0150
4. Wan Q., Huang S., Feng L., Sun K., Li Y. Audit method primitive design and implementation *Proceedings International Conference on Mechatronic Science. Electric Engineering and Computer (MEC)*. 2013. DOI: 10.1109/MEC.2013.6885455
5. Li-Wang L., Jin-Lan L. Study on budget management system based on AFE and Cash Call in overseas petroleum project. *3rd International Conference on System Science, Engineering Design and Manufacturing Informatization*. Sanya, China. 2021. DOI: 10.1109/ICSSEM.2012.6340876
6. Peng W., Loo W., Lee H., Jaruphongs W. A two-phased gradient technique for budget allocation: An application to data collection budget allocation in efficiency measurement of DEA. *2nd International Conference on Electronic Computer Technology*. Kuala Lumpur, Malaysia. 2010. DOI: 10.1109/ICECTECH.2010.5479979
7. Kshetri N., Keynote speakers big data deployment in assessing the creditworthiness of low-income families and micro-enterprises in emerging economies: Platforms, methodologies and business models. *Fifteenth International Conference on Advances in ICT for Emerging Regions (ICTer)*. 2015. DOI: 10.1109/ICTER.2015.7377655
8. Dong X. The study on the relationship between financing strategy and investment strategy based on three-stage dynamic game model. *Second International Conference on Communication Systems, Networks and Applications*. 2010. DOI: 10.1109/ICCSNA.2010.5588892
9. Баранова С.А., Леонидова А.И. Сокращение расходов в семейном бюджете. *Актуальные проблемы авиации и космонавтики*. 2013. Т. 2. № 9. С. 310-311.
10. Шудрик Е.Н. Модели формирования семейного бюджета *Материалы XI Международной научно-практической конференции молодых ученых "Зажги свою звезду". Сборник научных трудов. Центр научной мысли*. М.: Перо. 2016. С. 100-103.
11. Чернова М.В. Моделирование семейного бюджета. *Финансы и кредит*. 2011. №17 (449). С. 60-63
12. Бровко Н.В., Дем'янишина О.А. Поняття інфляції та її вплив на сімейний бюджет в Україні. *Проблеми і перспективи інноваційного розвитку*

- аграрного сектора економіки в умовах інтеграційних процесів. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченій 90-річчю економічної освіти в ХНАУ ім. В.В. Докучаєва*. 2019. Ч. 2. С. 97 – 99.
13. Синева Н.Л., Вагин Д.Ю., Головников А.И. Исследование отношения к планированию семейного бюджета и финансовому планированию клиентов ПАО "Сбербанк". *Актуальные вопросы современной экономики*. 2019. № 3-1. С. 839-855.
 14. Заячківська О.В., Панчук І.П. Сімейний бюджет українця: проблеми формування і раціонального використання. *Проблеми раціонального використання соціально-економічного та природно-ресурсного потенціалу регіону: фінансова політика та інвестиції: зб. наук. праць*. 2008. Вип. XIV, №4, С.129-137
 15. Juneja J., Amar A.D. A capital allocation decision rule for knowledge-intensive organizations IEEE. *Technology & Engineering Management Conference (TEMSCON)*. 2017. DOI: 10.1109/TEMSCON.2017.7998404
 16. Juneja J.A., Amar A.D. An Organizational Capital Decision Model for Knowledge-Intensive Organizations IEEE. *Transactions on Engineering Management*. 2018. V. 65, Iss. 3. P. 417 – 433 DOI: 10.1109/TEM.2018.2790898
 17. Bushuv S., Yaroshenko R. Multivector Managing of Development Program. Eastern European. *Journal of Advanced Technologies*. 2013. Iss.1/10 (61). P.4-8
 18. Fernandez G., *Data Mining Using SAS Applications*. New York: CRC Press, 2003. 367 p. DOI: 10.1201/9781003040439
 19. Bidiuk P.I., Korshevnyuk L.O., Prosyankina-Zharova T.I., Gozhyj O.P., Kalinina I.O., Terentiev O.M. Modeling and Forecasting Financial and Economic Processes with Decision Support System. *KPI Science News*. 2019. No.5-6 (127). P. 7–17. DOI: 10.20535/kpi-sn.2019.5-6.176835
 20. Bidiuk P.I., Prosyankina-Zharova T.I., Terentiev O.M., Lakhno V.A., Zhmud O.V. Intellectual technologies and decision support systems for the control of the economic and financial processes. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. 2019. 97(1), P. 71-87
 21. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. Киев: Наукова думка, 2005. 743 с.
 22. Pisarenko K., Onishenko T. The method of dynamic generating a forecast depending on the user's story. 2021 IEEE. *16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 2021. V.1. P. 317-320. DOI: 10.1109/CSIT52700.2021.9648776

**DEVELOPMENT OF WEB SERVICE FOR DYNAMIC GENERATING A
FORECAST OF BUDGET DEPENDING ON THE USER'S STORY**

K.O. Pysarenko, T.V. Onishenko, O.S. Prygozhev

National Odessa Polytechnic University
Shevchenko Ave., 1, Odessa, 65044, Ukraine. e-mail: horodnychaya@op.edu.ua

Budget planning has always been and remains an important part of any person's life. The purpose of this work is increasing users savings through the use of developed web service for dynamic generating a forecast, which is based on user's basic model and automatic selection of combinations of forecasting methods in each specific case by analyzing the quality and quantity of the user's story. Correct distribution of income, planning expenses and increasing savings remain quite relevant. Correct budgeting and expenditure require more and more effort to achieve high quality, consistent forecast estimates. In addition, questions in these areas are associated with a high degree of uncertainty. When analyzing such processes, the main problem is the ability to generate high-quality forecasts. Due to the flaws of the existing solutions, it was proposed to develop its own web service for the dynamic formation of a budget forecast depending on the user's story. The paper proposes its own models, the importance of each of the elements of the model is analyzed, shows how the basic model is transformed into a user's model, the use of models in the method of dynamic generating a forecast is shown. Thanks to the use of the developed models, the method allows for each specific case, taking into account the individual designated elements for constructing a forecast. The presented method analyzes the quality and quantity of the user's story and automatically selects a combination of forecasting methods in each specific case to solve the economic and financial issues of users. The increase in household saves after using the application based on the proposed models was analyzed. The analysis showed an average increase in income of 1.3 times among 74 families compared to the amount of savings saved without using the developed application based on the proposed models and method.

Keywords: forecasting, information technologies, web-service, budget, financial risks, uncertainties

ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ: МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ЗАПРОПОНОВАНІ РІШЕННЯ**В.М. Рувінська, В.В. Девятков**

Національний університет «Одеська політехніка»
пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна;
e-mail: victoriya.ruvinskaya@gmail.com, wladde2016@gmail.com

Проведено аналіз історії розвитку систем відеоспостереження, а також моделей, методів та технічних засобів, що використовуються у сучасних системах та запропоновано нові підходи для їх удосконалення. Проведено огляд існуючих рішень в області систем відеоспостереження, а саме: технічного забезпечення, функцій, структури і особливостей сучасних систем. Проаналізовані сучасні моделі та методи, що можуть бути використані для відеаналітики в системах відеоспостереження, такі як: пошук аномалій у відеоряді, глибини нейронні мережі для класифікації, локалізації, сегментації, виявлення, ідентифікації та трекінгу об'єктів у відеоряді. У наш час відеоспостереження набуло широкого поширення у зв'язку з швидким розвитком як апаратного забезпечення такого роду систем, так і різноманітних моделей і методів комп'ютерного зору, методів штучного інтелекту, зокрема, машинного навчання на основі глибинних моделей. Останнє дає змогу проводити більш якісну відеоаналітику і, таким чином, зменшити число помилкових спрацьовувань, як і в випадках, коли не виявляються важливі об'єкти та події при відеоспостереженні, так і навпаки, коли надаються помилкові сигнали тривоги. Отже треба модернізувати сучасні системи відеоспостереження у зв'язку з новими можливостями. Запропоновано для аналізу відеоряду з метою пошуку небезпечних/підозрілих подій використовуватися згорткуву нейронну мережу YOLO; щоб знизити навантаження на сервер від використання нейронної мережі система аналізуватиме зміну поточного відеокадру по відношенню до попереднього і для цього використовувати моделі і методи детектування аномалій, а також принцип локальності. В результаті досліджень запропоновано вимоги до систем безпеки на основі відеоспостереження та підходи до їх розробки. Спроектвана клієнт-серверна структура і функції системи. Розроблено дві початкові версії системи відеоспостереження, на основі яких далі можливо запроваджувати різні рішення і проводити експерименти. Описані застосована апаратура, випробуване програмне забезпечення, результати роботи.

Ключові слова: відеоспостереження, глибинні нейронні мережі, пошук аномалій, відеоаналітика.

Вступ

Відеоспостереження — це процес спостереження, що реалізується із застосуванням оптико-електронних пристроїв, призначених для візуального контролю та автоматичного аналізу [1]. Для контролю навколишнього середовища з метою безпеки життєдіяльності в даний час широко використовуються системи відеоспостереження – комплекс обладнання та програмного забезпечення, призначений для моніторингу поведінки, дій або інформації з метою збирання інформації, впливу, управління та координації [2].

Актуальність відеоспостереження безперечна, сьогодні за допомогою Інтернету і бездротового зв'язку можна перебувати в курсі всіх подій, стежити, налаштовувати і дивитися за потрібною ділянкою або людьми з будь-якого куточка земної кулі. Такого роду системи підвищують рівень безпеки, здійснюють контроль у сфері житлово-комунального господарства, тощо, що корисно як для особистого використання, так і в професійній діяльності. Таким чином, системи відеоспостереження мають вплив на різноманітні сфери життя, але найбільшою мірою вони здобули популярності у сфері

безпеки, що є пріоритетною для людей та бізнесу, і в наш час в цій сфері вони використовуються повсюдно. І зараз такі системи безпеки можуть вбудовуватися в Smart House наступним чином: датчики, які там є, використовувати і для детектування підозрілих подій.

Перші системи відеоспостереження з'явилися в середині 20 сторіччя, швидко і широко розповсюдились по світу і за короткий час у зв'язку з технічним прогресом, зокрема, в сфері інформаційних технологій значно просунулися у своєму розвитку. Але в наш час, тобто за останні приблизно 20 років, апаратні можливості, Інтернет, моделі і методи штучного інтелекту, включаючи комп'ютерний зір, машинне навчання, включаючи глибинні моделі, засоби автоматичного пошуку аномалій та інші настільки швидко розвинулись, що необхідно їх своєчасно впроваджувати в прикладні системи, зокрема, і в області відеоспостереження.

Мета роботи

Метою роботи є підвищення якості систем відеоспостереження на основі їх модернізації у зв'язку з новими можливостями в апаратному, математичному, алгоритмічному та програмному забезпеченню.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести огляд історії розвитку систем відеоспостереження;
- виконати аналіз існуючих рішень в області відеоспостереження та суміжних областей, результати яких потенційно можуть застосовуватися для такого роду систем;
- запропонувати рішення по модернізації систем відеоспостереження;
- розробити початкові версії систем відеоспостереження, на базі яких далі запроваджувати різні рішення і проводити експерименти.

Історія розвитку систем відеоспостереження

Однією з перших систем відеоспостереження, під якою розуміється структура для передачі і аналізу зображення на відстані, з'явилася в Німеччині в 1942 р., використовувалися камери і монітори для моніторингу в реальному часі, але не було можливості записувати зображення. Перша система, задіяна в комерційних цілях, випущена в 1949 р., використовувала дроти замість радіохвиль. 50-ті роки ознаменувалися появою кольорових відеокамер. Вже до 1965 р. камери громадського спостереження стають все більш поширеними. 1968 р.: в американському штаті Нью-Йорк встановили відеоспостереження з метою охорони правопорядку, при цьому камери відсилали зображення в департамент поліції цілодобово. У 1969 р. з'являється перша офіційна система відеоспостереження від Марі Ван Бріттан Браун, механізм складався з чотирьох очок і камери, що передав зображення на монітор. Нова епоха історії відеоспостереження почалась з винаходом на початку 70-х побутових відеомагнітофонів, при цьому відеозапис став доступним приватним особам, а камери почали з'являтися повсюдно. Технологія пристроїв із зарядним зв'язком з'явилася в 1976 р, що призвело до створення камер, які можуть використовуватися в умовах низької освітленості [3].

Значний стрибок стався в 1990-х, коли мультиплексні рішення знайшли визнання, така технологія дозволила об'єднати відеосигнали з декількох камер і відобразити їх на одному моніторі. Відеореєстратори оснащуються жорсткими дисками, і зображення записується по колу, коли самий «свіжий запис» затирає найбільш ранній, також включається запис при виявленні руху. У камерах стали також з'являтися CMOS-матриці, дешевші ніж CCD. Перші IP-камери випускається в 1996 р, вони могли відправляти або отримувати інформацію через комп'ютерні мережі, що призвело до появи веб-камер. У 1998 р. в лондонському бюро вперше розмістили систему розпізнавання осіб. Прогрес в області цифрових технологій з початку тисячоліття привів до подальших поліпшень. Аналогові відеомагнітофони замінялись цифровими (DVR), мультиплексори тепер вбудовані в усі подібні пристрої, що спрощує установку і експлуатацію. Цифрове спостереження також позбавило від необхідності відеокасет, зображення стало передаватися за допомогою IP-камери через локальну мережу або інтернет. Відеореєстратор може

бути розташований в будь-якій точці світу, або можна обійтися і без нього, використавши для зберігання записів персональний комп'ютер. Починає розвиватися відеоаналітика, здатна розпізнавати об'єкти і події в кадрі, за рахунок чого спостереження і аналіз відеозапису спростилися. Бурхливий розвиток хмарних технологій відбувався на початку 2010-х, і це позначилось на відеоспостереженні. Там, де раніше зводили велику інфраструктуру з відеореєстраторами та серверами, що використовують аналітику, тепер достатньо застосувати сучасні хмарні відеокамери і забезпечити швидкий канал зв'язку. Дана обставина змінила спосіб зберігання інформації – не треба утримувати великі сервера, все це є в «хмарі». У хмарному сховищі дані зарезервовані, зашифровані і доступні в будь-який час [4].

Технічне забезпечення систем відеоспостереження

Всі системи відеоспостереження, незалежно від виду, включають такі технічні компоненти: блок живлення, кабель, жорсткий диск (HDD) для запису і зберігання відео з камер, монітор або комп'ютер для підключення безпосередньо до відеореєстратора для локального перегляду відеозапису, Інтернет для використання відеореєстратора з хмарним сервісом при перегляді відеозапису в онлайн режимі.

Прийнято виділяти кілька типів класичних систем відеоспостереження в залежності від використовуваного технічного оснащення [2, 5]:

- Аналогові. Склад комплектуючих: AHD/HD-CVI/HD-TVI камера відеоспостереження, відеореєстратор DVR.

- Цифрові. В їх основу покладено IP-технології. Мається на увазі використання IP відеокамер спільно з мережевими комутаторами. Склад комплектуючих: IP камера відеоспостереження, відеореєстратор NVR, мережевий комутатор (світч) для підключення відеокамер і відеореєстраторів до мережі.

- Змішані (гібридні). Принцип їх роботи засновано на двох етапах: прийом відеозображення з аналогових камер; оцифрування зображення.

Аналогові системи вважаються морально застарілі, проте в деяких ситуаціях використання саме цього типу цілком обгрунтовано [2]. Цифрові системи в даний час є найперспективнішими. Їх переваги в порівнянні з аналоговими системами наступні: покращена якість відеозображення; гнучкість і легка масштабованість; можливість глибокого аналізу і віддаленого налаштування; легкість інтеграцій в існуючу мережу; перспективність і розвиток. Гібридні системи вважаються найбільш поширеними. У них якість одержуваної картинки істотно поступається цифрового формату, проте інші параметри роботи цього типу нічим не відрізняються від аналогічних характеристик цифрових систем, що дає можливість створювати надійні і багатофункціональні системи змішаного типу.

Системи нового покоління активно використовують Інтернет і з цією метою мають в своєму складі: або камери-відеореєстратори для запису і збереження відеозображення, а також виконання функцій маршрутизатора, управління всіма відеокамерами, обробки запитів користувачів; або одну мережеву IP-камеру, такий варіант оптимальний для невеликих територій; або декілька мережевих камер для передачі інформації одночасно з декількох пунктів.

Функції існуючих систем відеоспостереження

Системи відеоспостереження нового покоління користуються великим попитом. Основні можливості і переваги таких систем [5]: вести спостереження в режимі реального часу; віддалено отримувати доступ до налаштувань і функцій управління системами, в тому числі для зміни способів запису й передачі повідомлень; повна відсутність обмежень на кількість і тип використаної апаратури; підключення до системи будь-якого електронного пристрою, що має необхідне програмне забезпечення, тобто комп'ютера, ноутбука, смартфона тощо.

При цьому використовуються такі переваги комп'ютера як: можливість роботи без втоми, інфрачервоний спектр, термодетекція, потужна оптика та інша апаратура, що перевищує ресурси людини, уповільнення, оглядовість та інше.

У програмному забезпеченні систем відеоспостереження передбачені функції реагування на конкретні сигнали, щоб в потрібний момент включався запис одержуваного відеозображення, тобто система може автоматично включити запис, якщо, наприклад, перед камерами почався якийсь рух, тощо; далі запис може бути переглянутий для вивчення і аналізу ситуації. Такі програмні можливості є невід'ємною частиною такого роду систем [5].

У багатьох містах України в останні роки активно розвиваються і розширюються системи відеоспостереження. Так в Одесі проект міського відеоспостереження стартував в 2018 р в рамках програми «Безпечне місто», і був створений «Центр інтегрованої системи відеоспостереження та відеоаналітики Одеси», або «Центр-077» [6]. Крім панорамної зйомки, системи розпізнають обличчя (встановлені на вокзалах) і автомобільні номери, при цьому в нічний час пригнічується зустрічне світло фар (встановлені на всіх центральних автомагістралях), Все, що потрапляє в об'єкти камер, будь то обличчя або номерний знак, автоматично зберігається в єдиній базі: відеоматеріал – на 14 днів, фотофіксація і геодані – до року.

Структура і особливості сучасних систем відеоспостереження

Одним із самих простих підходів, що використовуються при відеоспостереженні, є відеодетекція. Відеодетектор піксельно порівнює наступний кадр з попереднім або з групою кадрів і сигналізує про змінення статичних картинок. При цьому визначають заздалегідь, чи враховувати більше або менше змін у глибині кольору, чи виключати реакції на певні зони в кадрі, визначають площу змін. Самими суттєвим недоліком відеодетекції є низька перешкодостійкість. Якщо у зоні відеодетекції знаходяться гілки, що гайдаються від вітру, то точність значно знижується. І це потребує безвідривного ручного контролю у реальному часі або тривалого перегляду відеоархівів, щоб відстежити важливі події.

Відеоаналітика порівнює не статичні картинки і не пікселі як такі, а зміна характеру активності. Вона працює з динамікою, знаходить новий рух на фоні інших рухів. Коли об'єкт потрапляє в кадр або починає рухатися, аналізується і запам'ятовується його характер активності, що стає ознакою ідентичності даного об'єкта. Реакція настає при зміні цієї закономірності руху чи на появу іншого характеру руху на кадрі, і навіть їх комбінацій при накладенні. Одне з найактуальніших завдань у системах відеоспостереження – скорочення обсягу марної інформації, видалення непотрібних даних, на відміну від інших підходів відеоаналітики, коли розпізнається потрібна для людини інформація. Цій меті служить так звана відосемантика – «короткий логічний виклад відеоінформації шляхом розкладання її на семантичні одиниці (відосюжети), кожен з яких має свій закінчений зміст, що відрізняється від попереднього і наступного відосегмента» [7].

Відосемантика спрацьовує не при кожному хитанні гілочки, а тільки один раз, коли змінилася погода, ставши вітряною. При цьому технологія «коротких даних» вкорочує все, зокрема і перешкоди. У панелі видачі результатів буде про хитання гілочки, але один раз за час вітряної погоди, це в тисячі разів менше кількох годин постійного відеозапису, зав'язаного на стандартну відеодетекцію. Одна з перших систем відеоспостереження, що працювала по технології «коротких даних» була ACE Surveillance [8]. Вона займається вилученням та обробкою анотованих критичних ділянок відеоспостереження. ACE складається з ACE Capture модуля та ACE Browser модуля. ACE Capture працює наступним чином: відеосигнал з камери відправляється на комп'ютер, в результаті запуску програмного забезпечення звучить сигнал тривоги при виявленні нового об'єкта або активності. Критичні моментальні знімки даних (CES) автоматично виявляються і зберігаються. Кожний CES забезпечений візуальними та текстовими ано-

таціями, що допомагають зрозуміти дані та підвищують керованість архівними даними. Анотації CES включають: місцезнаходження та розмір об'єкта, що рухається; напрямок; звідки з'явився об'єкт; швидкість. Браузер ACE відповідає за підготовку, ефективний перегляд і пошук архівних даних CES. Така структура системи має за мету спростити виявлення аномальних подій в величезній кількості даних, що зберігаються.

Пошук аномалій у відеоряді

Природно розглядати відео як послідовність кадрів, і суттєві зміни від одного кадру до іншого зазвичай можуть вказувати на виникнення нових ситуацій, і це розглядається як вихід із стану стабільності, тобто як аномалія.

Розглядають два типи задач, пов'язаних з пошуком аномалій [9]:

1) Виявлення так званих викидів (Outlier detection), які визначаються як спостереження, що лежать далеко від інших. Алгоритми для детектування викидів намагаються знайти регіони, де зосереджена основна маса даних, ігноруючи аномальні спостереження, тобто нетипові приклади, які заважають надалі для використання цих даних, зокрема, перед машинним навчанням їх прибирають.

2) Визначення незвичайного явища або ситуації, зокрема, аномальної поведінки (Novelty detection), коли є спостереження, що описують різноманітні звичайні стани системи, а потім з'явилися нові дані, і треба визначити, чи є вони аномальними. Очевидно, що саме такий підхід як Novelty detection найбільшою мірою підходить для аналізу відеоряду і встановлення, чи є аномалії в новому кадрі порівняно з попередніми.

Існують різноманітні методи пошуку аномалій, і їх модно поділити на два типи: Supervised Anomaly Detection (навчання зі вчителем) і Unsupervised Anomaly Detection (навчання без вчителя) [10].

Для методів першого типу на вхід навчання надходять дані з мітками, що встановлюють, чи аномалії, чи ні. А саме методи являють собою такі розповсюджені підходи як: Support Vector Machines (SVM), k-Nearest Neighbors, Bayesian Networks, Decision Tree та інші [11]. Однак для них трудомісткою задачею та, часто, і проблемною є правильна установка міток. І в результаті датасет містить шум, що призводить до частих хибних спрацьовувань.

Розглянемо далі навчання без вчителя, коли для даних, що надходять для навчання, невідомо, які з них нормальні, а які аномальні (що характерно для аналізу відеоряду). В цьому випадку використовуються різноманітні підходи.

Найпростіше рішення: для більшості задач тільки невеликий процент даних аномальні, тоді використовують кластеризацію, в результаті великі по розміру кластери відповідають нормальним даним, а малі – аномальним.

Іншим рішенням є моделювання тільки нормальних даних, при цьому будуються їх профіль. Одним із прикладів є метод One Class SVM – одна із форм класичного алгоритму SVM [9, 12]. Як впливає із назви, для його навчання достатньо мати всього один клас – "чисті" спостереження без аномалій. Загальна ідея: перетворити ознаковий простір (за допомогою Kernel Trick [12]) і провести розділяючу гіперплощину так, щоб спостереження лягли як можна далі від початку координат. В результаті одержуємо кордон, по одну сторону якого максимально щільно упаковані спостереження із «чистої» тренувальної вибірки, а по іншу – аномальні, не схожі з тими, що алгоритм «бачив» під час навчання. І, таким чином, аномалії визначаються як ті екземпляри в наборі даних, що не відповідають нормальному профілю.

Ще один підхід будується на припущенні, що аномалії не тільки нечисленні, але й в них є значення атрибутів, що значно відрізняються від значень численних звичайних екземплярів. Одним із прикладів цього типу є метод Isolation Forest [13], у якому проводиться розбиття простору ознак у вигляді так званих ізолюючих дерев, і аномаліями виявляються точки, що значно віддаленні від інших.

Одним із перспективних напрямків в зв'язку з тим, що кадри відео змінюються за часом, є розгляд відео у вигляді часового ряду. Для аналізу часових рядів і, зокрема,

вирішення задачі пошуку в них аномалій, або точок зміни (Change Point Detection), розроблено достатньо багато ефективних методів, що дозволяють визначати моменти часу, коли відбуваються суттєві зміни в часовому ряді [14].

Якщо задача полягає в тому, щоб аналізувати відеоряд в реальному часі, це актуально для сучасних систем відеоспостереження, то необхідно використовувати так званий online Change Point Detection, що виявляє точки змін у вхідному потоці даних. При offline Change Point Detection припускається, що ряд доступний у повному обсязі до начала аналізу.

Для детектування точок змін у часовому ряді онлайн використовуються різні методи:

- Статистичний послідовний аналіз - розділ математичної статистики, який вивчає статистичні методи, основані на послідовній вибірці, що формується в ході статистичного експерименту, і на кожному етапі вирішується, необхідні чи ще спостереження для оцінки [15].

- Регресія часового ряду [15] – побудувавши такого роду модель із даних, можна спрогнозувати тенденції, а далі порівняти прогнозовані та фактичні показники; значна різниця указує на відхилення або аномалію.

- Поточні алгоритми (streaming algorithms) - для обробки послідовності даних в один або мале число проходів; вирішують задачі, в яких дані надходять послідовно та у великому обсязі [16].

- Стандартизована оцінка, z-оцінка (Standard score, z-score) - це міра відносного розкиду спостереженого чи виміряного значення [15]; чим z-оцінка більша, тим вище вірогідність того, що в потоці значень є відхилення. Щоб знайти аномалії, треба встановити границі z-оцінок, що прийняті за нормальні; всі z-оцінки, що виходять за задані межі, будуть вважатися аномальними. Однак із-за фіксованого порогу можливі численні хибні спрацьовування.

- Перестановочні мартингали аналізують, чи може кожне значення ряду бути виявлено з рівною вірогідністю (властивість комутативності); такого роду комутативний ряд стабільний; порушення комутативності вказує на аномалію; для аналізу використовується машинне навчання онлайн, тобто моделі, що дозволяють виявляти аномалії, будуються і корегуються в реальному часі по мірі надходження нових спостережень [17].

Примітно, що саме останнє рішення взято за основу при розробці сервісу для детектування аномалій (Anomaly Detection Service) в Azure Marketplace, і воно було випробувано для пошуку суттєвих змін яскравості в кадрах відеоряду [18, 19].

Глибині нейронні мережі для класифікації, локалізації, сегментації, виявлення, ідентифікації та трекінгу об'єктів у відеоряді

Сучасні системи відеоспостереження у великих кампаніях та у державних установах часто використовують так звані «розумні» інтелектуальні технології на основі моделей та методів комп'ютерного зору, що виявляють об'єкти у відеоряді, також можуть знаходити їх властивості як і в кожному кадрі окремо, так і в динаміці. Сучасними базовими моделями для комп'ютерного зору є згорткові глибинні нейронні мережі, CNN [20]. Глибині нейронні мережі мають більш одного прихованого шару, перша така успішна мережа AlexNet, що була створена в 2012 р., містила 8 прихованих шарів. З того часу глибинні нейронні мережі набули широкого розвитку та поширення в різноманітних областях в зв'язку з тим фактом, що ознаки в таких мережах виявляються автоматично, а також завдяки їх високій ефективності при рішенні багатьох задач при роботі з зображеннями і відео.

Класифікація – це визначення основного об'єкту на зображенні та його класу. Для аналізу зображення з декількома важливими об'єктами служать задачі локалізації (або сегментації) та виявлення. Локалізація – це обведення кожного об'єкту на зображенні прямокутними рамками, сегментація – обведення контуру об'єкту, а виявлення – кла-

сифікація кожного об'єкту, локалізованого або сегментованого. Існують моделі та методи, що дозволяють вирішувати одночасно декілька із перерахованих задач, зокрема, глибинна нейронна мережа OVERFEAT [21] проводить класифікацію, локалізацію та виявлення об'єктів на зображеннях.

Для більш складних задач аналізу зображень, а також відео, наприклад, в судово-медичному розслідуванні на основі даних відеоспостереження [22] використовуються:

- ідентифікація, зокрема, розпізнавання осіб;
- створення анотацій, тобто невеликих текстів з описами, щоб зафіксувати найбільш інформативну динаміку в відео [23];
- трекінг, що дозволяє простежити положення певних виявлених об'єктів у часі, тобто у різних кадрах відео [24].

В наш час для глибинних моделей широко використовується перенос навчання (transfer learning) [25]. Для вирішення конкретної задачі використовується так звана переднавчена мережа, навчена раніше для іншого завдання на великій кількості даних і, наприклад, для класифікації для великої кількості категорій. При цьому отримано високу точність. Нехай для конкретної нової задачі є невелика кількість даних, і категорій менше, і вони не повністю збігаються з категоріями передбачуваної мережі, але близькі до них. Ідея transfer learning - ознаки, які вийшли при навчанні одних категорій, перенести на інше завдання, донавчаючи переднавчену мережу на нових даних. При цьому точність отриманої після навчання моделі вище, ніж якби ми навчали мережу з нуля на новій невеликій кількості даних.

Система відеоспостереження, вимоги та запропоновані рішення

Для вирішення завдання збереження безпеки для об'єкту, що спостерігається, застосовують відеоспостереження, однак оскільки людина не в змозі постійно стежити за тим, що відбувається на багатьох моніторах, система повинна самостійно розпізнавати і виділяти небезпечні / підозрілі ситуації. Така система буде отримувати транслований відеозапис з камер відеоспостереження і самостійно проводити аналіз того, що відбувається, що дозволить знизити навантаження на оператора, тим самим зменшивши ймовірність ігнорування небезпечної ситуації. Тобто пропонується система складається з однією або декількох відеокамер, що транслює те, що відбувається, а також програмного забезпечення, яке оброблятиме трансляцію на предмет пошуку ситуацій, на які треба акцентувати увагу оператора, за допомогою відеоаналітики.

Дуже цінною особливістю відеоспостереження буде можливість записувати відео навіть при вимкненій електриці, оскільки зловмисники, якщо спробують проникнути, наприклад, в приватний будинок, швидше за все, в першу чергу вимкнуть електрику. Відеокамера повинна бути обладнана акумулятором і картою пам'яті, щоб продовжити запис навіть у разі відключення зовнішнього джерела живлення, наприклад, якщо зловмисники спробують знеструмити квартиру. У разі відключення зовнішнього джерела живлення локального дискового простору та акумулятора вистачатиме як мінімум на добу відеозапису. Але використання акумулятора вимагає особливих економічних до витрат батареї алгоритмів обробки відеокадрів.

Відеокамера повинна мати хорошу якість запису в темний час доби, оскільки швидше за все зловмисники діятимуть саме в цей час доби. Доцільно також встановити датчик руху, тоді такий набір обладнання забезпечує максимально ефективний і точний аналіз інформації в нічний час доби.

Система буде виконувати інтелектуальну архівацію відеозаписів, оптимальна схема для економії пам'яті, займаної відеозаписами, полягає в тому, щоб зберігати повне відео за останню добу, а також окремі ділянки відео, в яких була помічена підозріла активність, за 10 секунд до початку активності і аж до моменту, плюс 10 секунд після завершення активності. Користувачам надсилаються повідомлення про підозрілі активності в реальному часі.

Система відеоспостереження розробляється як клієнт-серверна.

Сервер разом з основною програмною системою обробляє трансляцію на предмет пошуку підозрілих ситуацій, акцентуючи увагу оператора на тому, що відбувається.

Клієнт дозволяє будь-кому, хто пройшов авторизацію, побачити трансляцію з відеокамер, отримувати повідомлення у разі підозрілих подій, а також мати доступ до відеоархіву небезпечних ситуацій. У разі втрати з'єднання між відеокамерою та сервером на клієнтську програму має надходити повідомлення про можливу підозрілу активність.

Для сервера і клієнта потрібен доступ до Інтернет. Діаграма, що показує роботу запропонованої системи відеоспостереження, показана на рис. 1.

Пропонується відеоаналітику підключати у вигляді окремих модулів, кожен з яких повинен мати один і той же заздалегідь спроектований інтерфейс, і, таким чином, з'явиться можливість легко масштабувати систему поступово нарощуючи її інтелектуальність.

Порівняння запропонованої системи з аналогами наведено в таблиці 1.

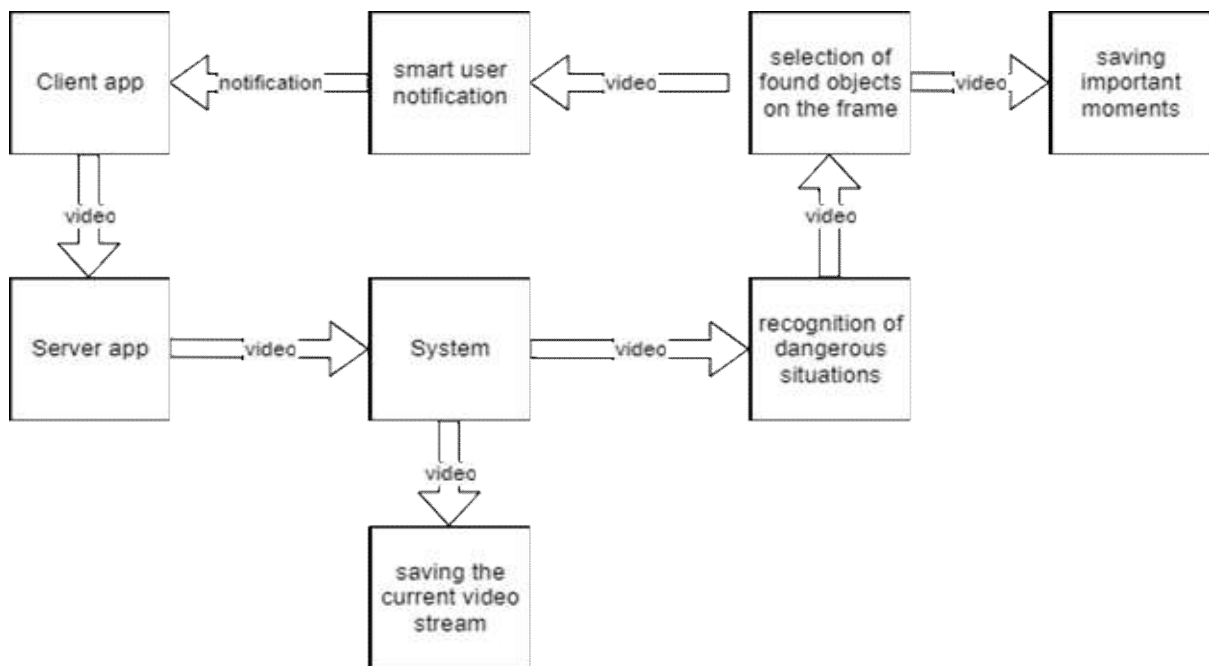


Рис. 1. Структура та функції запропонованої системи відеоспостереження

Було вирішено розробити початковий варіант системи відеоспостереження, на основі якої далі можливо запроваджувати різні рішення і проводити експерименти.

Застосована апаратура: процесор Intel Core I7, графічний адаптер NVIDIA GFORCE DX 1050.

Випробуване програмне забезпечення:

- Нейронна мережа YOLO (You Only Look Once) [26] версія v4 – архітектура CNN, що використовується для розпізнавання множинних об'єктів на зображеннях. Працює ефективніше, тобто швидше за інші архітектури завдяки роботі в один прохід по зображенню, що важливо для обробки відео.

- Бібліотека OpenCV [27], що застосовується для розробки та навчання нейронних мереж, версія 4.5.4. Вибрана, тому що показує більшу швидкодію порівняно з аналогами, наприклад, Tensorflow. Для зв'язку з YOLO використовується функція readNet from Darknet, що загрузає YOLO в OpenCV.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики розглянутих систем відеоспостереження

Характеристики розглянутих систем відеоспостереження	ACE Surveillance	Anomaly Detection Service	Goa ICity	Запропонована система
Детектування аномалій для сусідніх кадрів	-	+	-	+
CNN	-	-	+	+
Короткі дані	+	-	+	+
Клієнт-серверна архітектура	+	-	+	+
Інтелектуальна архівація відеозаписів	+	-	+	+
Сповіднення користувача про підозрілі / небезпечні ситуації	+	-	+	+

Розроблена програма виводить вікно, в якому відтворюється відео і виділяються об'єкти тих класів, що може знаходити YOLO. Такі об'єкти виділяються рамочкою, і пишеться назва класу об'єкту, що розпізнано (рис. 2).

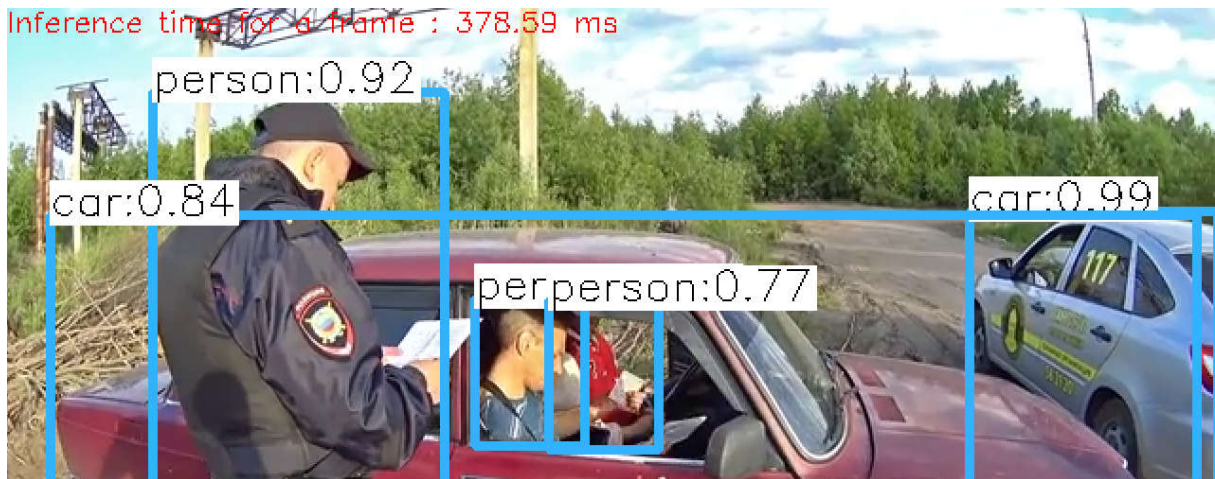


Рис. 2. Вікно системи відеоспостереження з локалізованими об'єктами та їх класами

В першій версії системи використовувався CPU. При запуску на відео, у якому роздільна здатність кадра 416*416, обробка здійснювалась з частотою кадра 1-1.5 кадрів в секунду, що занадто повільно, комфортна для людини частота - 30 кадрів в секунду.

В другій версії підключили GPU до OpenCV, для цього використовували декілька додаткових бібліотек:

- NVIDIA CUDA Toolkit для розробки середовища для створення високо-ефективних застосувань на базі GPU [28];

- CUDA Deep Neural Network library (cuDNN) – бібліотека з GPU-прискоренням, що містить примітиви для глибоких нейронних мереж [29].

В результаті таких налаштувань обробка відео стала здійснюватися значно швидше з частотою 10-12 кадрів в секунду.

Надалі для аналізу відеоряду система буде використовуватися нейронну мережу YOLO. За її допомогою будуть вирішуватися наступні задачі:

- 1) Пошук на зображенні руху, виявлення людей, їх ідентифікацію, виділення небезпечних ситуацій, таких як відкритий вогонь або пожежа та інше.

- 2) Перенос навчання та донавчання глибокої нейронної мережі на нових даних (зображеннях, відео), що представляють нормальні ситуації для конкретного об'єкта, для якого потрібно забезпечити безпеку за допомогою відеоспостереження. І, таким чином, в результаті навчання нейронної мережі отримуємо на останньому шарі узагальнене графічне уявлення всіх нормальних ситуацій для конкретного об'єкта; далі пе-

ретворимо це на вектор ознак. При детектуванні поточної ситуації (поточний кадр) порівнюємо з вектором ознак узагальненої нейронної мережі, що навчана на прикладах нормальних ситуацій за допомогою введеної відстані.

Для того, щоб знизити навантаження на сервер від використання нейронної мережі і, таким чином, досягти комфортної для людини частоти кадрів в одиницю часу, система аналізуватиме зміну поточного відеокадру по відношенню до попереднього. Це дозволить істотно знизити навантаження на сервер, так як більшу частину часу, якщо система стоїть в режимі охорони, вона має справу зі статичним зображенням, на якому може змінюватися хіба що освітлення і тіні. Тобто, щоб довести обробку кадрів до прийнятної для людини частоти, треба обробляти не всі кадри, а частину з них, або в сусідніх кадрах обробляти не все зображення, а тільки ті об'єкти, що доцільно відслідковувати. Але треба мати на увазі, що не можна пропускати важливі для аналізу відеоспостереження кадри. Щоб це виявити, пропонується:

- по-перше, детектування аномалій за допомогою пошуку суттєвих змін або в яскравості кадрів відеоряду або в джерелах освітлення на базі різних методів, описаних вище, зокрема, перестановочних мартингалів;

- по-друге, використовувати принцип локальності, а саме, якщо знайдено важливий об'єкт на попередньому кадрі, то доцільно шукати його не по всьому зображенню поточного кадру, а десь поряд.

Висновки

Проведено огляд існуючих рішень в області систем відеоспостереження, а саме:

- технічного забезпечення,
- функцій,
- структури і особливостей сучасних систем.

Проаналізовані сучасні моделі та методи, що можуть бути використані для відеаналітики в системах відеоспостереження, такі як:

- пошук аномалій у відеоряді,
- глибині нейронні мережі для класифікації, локалізації, сегментації, виявлення, ідентифікації та трекінгу об'єктів у відеоряді.

Пред'явлені вимоги до системи відеоспостереження, що буде застосуватися для надання безпеки, спроектована клієнт-серверна структура і функції системи. Проведено порівняння з аналогами.

Розроблено дві початкові версії системи відеоспостереження, на основі яких далі можливо запроваджувати різні рішення і проводити експерименти. Описані застосована апаратура, випробуване програмне забезпечення, результати роботи.

Запропоновано для аналізу відеоряду з метою пошуку небезпечних/підозрілих подій використовувати згорткову нейронну мережу YOLO, для якої за допомогою переносу навчання провести донавчання на нових даних, що представляють нормальні ситуації для конкретного об'єкта, для якого потрібно забезпечити безпеку за допомогою відеоспостереження. При детектуванні для поточного кадру використовувати навчену узагальнену нейронну мережу.

Щоб знизити навантаження на сервер від використання нейронної мережі система аналізуватиме зміну поточного відеокадру по відношенню до попереднього і для цього використовувати моделі і методи детектування аномалій, зокрема перестановочні мартингали, а також принцип локальності.

Список літератури

1. Monahan T., Wood M., David. *Surveillance Studies: A Reader*. New York: Oxford University Press, 2018.
2. Актуальность и необходимость использования систем видеонаблюдения. URL: <https://golossokal.com.ua/ru/cikavo/aktualnost-neobhodimost-ispolzovaniya-sistem-video.html>
3. История видеонаблюдения Европы и США. URL: <https://dnepsecurity.com/statji/istorija-videonabljudeniya.html>
4. История видеонаблюдения: путь от телевизора и Третьего рейха до облаков и нейросетей. URL: <https://habr.com/ru/company/ivideon/blog/313586>
5. Особенности камер видеонаблюдения. URL: <https://worldvision.com.ua/kak-vybrat-naruzhnuu-kameru-rabotaushchuu-ot-batarei/>
6. В Одессе заработала муниципальная система видеонаблюдения «Безопасный город». URL: <https://itc.ua/news/v-odesse-zarabotala-munitsipalnaya-sistema-videonablyudeniya-bezopasnyiy-gorod/>
7. Система событийного видеонаблюдения GOALCity. URL: https://www.goal.ru/videonabludenie/what-is_videoanalitika/
8. Gorodnichy D.O., Mungham T., Automated video surveillance: challenges and solutions. *ACE Surveillance (Annotated Critical Evidence) case study NATO SET-125 Symposium Sensor and Technology for Defence against Terrorism*. 2008. URL: https://www.researchgate.net/publication/229040125_Automated_video_surveillance_challenges_and_solutions_ACE_Surveillance_Annotated_Critical_Evidence_case_study
9. Pedregosa. Scikit-learn: Machine Learning in Python. *JMLR*. 2011. No.12, P. 2825-2830.
10. Omar S., Ngadi A., Jebur H.H. Machine Learning Techniques for Anomaly Detection: An Overview. *International Journal of Computer Applications*. 2013. V.79. No.2. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.402.6779&rep=rep1&type=pdf>
11. Larose D. T. *Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining*. 2014. P. 336. ISBN: 978-0-470-90874-7.
12. Vapnik V.N. *Statistical Learning Theory*. John Wiley & Sons, 1998.
13. Liu F.T., Ting K.M., Zhou Z.H. Isolation Forest. *ICDM'08. Eighth IEEE International Conference on Data Mining*. 2008. P. 413-422.
14. Van den Burg, Gerrit J. J., Williams, C.K.I. An Evaluation of Change Point Detection Algorithms. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2003.06222>
15. Ивченко Г.И., Медведев Ю.И. *Математическая статистика: Учебник*. М.: Либроком, 2014. 352 с.
16. Babcock B., Babu S., Datar M., Motwani R., Widom J. (). Models and issues in data stream systems. *Proceedings of the 21st ACM Sigmod-Sigact-Sigart Symposium on Principles of Database Systems*. 2002. P. 1–16. doi:10.1145/543613.543615.
17. Fedorova V., Gammernan A., Nouretdinov I., Vovk V. Plug-in martingales for testing exchangeability on-line. *Proceedings of the 29th International Conference on Machine Learning (ICML-12)*. 2012. P. 1639-1646.
18. Time Series Anomaly Detection. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/machine-learning/studio-module-reference/time-series-anomaly-detection>
19. Рувинская В.М., Девятков В.В., Андросов А.Г. Поиск аномалий для систем видеонаблюдения. Інформаційні управляючі системи і технології. *Матеріали Х Міжнародної науково-практичної конференції*. Одеса, 2021. С. 69 – 71.
20. Николенко А. Кадурич Е., Архангельская С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей. СПб.: Питер, 2018. 449с.

21. Sermanet P., Eigen D., Zhang X., Mathieu M., Fergus R., LeCun Y. OverFeat: Integrated Recognition, Localization and Detection using Convolutional Networks. 2014. URL: <https://arXiv:1312.6229>.
22. Xiao J., Li S., Xu Q. Video-Based Evidence Analysis and Extraction in Digital Forensic Investigation. *IEEE Access*. 2019, V.7, P. 55432-55442, DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2913648.
23. Wu Z., Yao T., Jiang Y. Gang. Deep Learning for Video Classification and Captioning. *Frontiers of Multimedia Research*. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1609.06782>
24. Luo W., Xing J., Milan A., Zhang X., Liu W., Kim T.K. Multiple object tracking: A literature review. *Artificial Intelligence*. 2021. V. 293. 103448.
25. Fuzhen Zhuang, Zhiyuan Qi, Keyu Duan, Dongbo Xi, Yongchun Zhu, Hengshu Zhu, Hui Xiong, Qing He. *A Comprehensive Survey on Transfer Learning*. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/1911.02685>
26. Bochkovskiy A., Wang C.Y., Liao H.Y.M. YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection. 2020. URL: <https://arxiv.org/pdf/2004.10934v1.pdf>
27. OpenCV. Open-Source Computer Vision. URL: <https://docs.opencv.org/4.x/>
28. Nvidia CUDA Toolkit. Release Notes for CUDA 11.5.1. URL: https://docs.nvidia.com/cuda/pdf/CUDA_Toolkit_Release_Notes.pdf
29. NVIDIA cuDNN. URL: <https://developer.nvidia.com/cudnn>

VIDEO SURVEILLANCE FOR SECURITY SYSTEMS: MODELS, METHODS AND PROPOSED SOLUTIONS

V. Ruvinskaya, V. Devyatkov

National Odessa Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine; email: wladde2016@gmail.com,
victoriya.ruvinskaya@gmail.com

The history analysis of video surveillance systems, as well as models, methods and technical means used in modern systems were carried out and was proposed new approaches to improve them. A review of existing solutions in the field of video surveillance systems was carried out, namely: hardware, functions, structure and features of modern systems. Modern models and methods that can be used for video analytics in video surveillance systems are analyzed, such as: anomalies detection, deep neural networks for classification, localization, segmentation, detection, identification and tracking of objects in the video. Nowadays, video surveillance has become widespread due to the rapid development of both hardware and computer vision, methods of artificial intelligence, in particular, machine learning based on deep models. These achievements can be used for better video analytics and thus reduces the number of false alarms, as in cases where important objects and events are not detected during video surveillance, and vice versa, when false alarms are given. Therefore, modern video surveillance systems need to be modernized using new possibilities. It is proposed to use the YOLO convolutional neural network to analyze the video in order to search for dangerous / suspicious events; to reduce the load on the server from the use of the neural network, the system will analyze the change of the current video frame compared to the previous one and use models and methods to detect anomalies, as well as the principle of locality. As a result of research, the requirements for security systems based on video surveillance and approaches to their development are proposed. The client-server structure and functions of the system are designed. Two initial versions of the video surveillance system have been developed. On this basis it is possible to implement various solutions and conduct experiments. The applied equipment, tested software, results of work are described.

Keywords: video surveillance, deep neural networks, anomalies detection, video analytics

**АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ СИНТЕЗУ
ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНИМИ
КОЛОНАМИ****А.О. Стопакевич¹, О.А. Стопакевич²**¹Державний університет інтелектуальних технологій та зв'язку,

1, Кузнечна, Одеса, 65029, stopakevich@gmail.com

²Національний університет «Одеська політехніка»,

1, пр. Шевченка, Одеса, 65044, stopakevich@op.edu.ua

Проблема синтезу систем керування ректифікаційними колонами є актуальною багато років. Для ректифікаційних колон як об'єктів керування при розв'язанні задачі синтезу систем автоматичного керування завжди актуальною є проблема впливу перехресних впливів. Зі збільшенням складності структури ректифікаційної колони (збільшення компонентів, ускладнення структури апарату з додаванням додаткових теплових зв'язків, використання вбудованого в колону реактора та ін.) ця проблема стає тільки гострішою. Типовим підходом до синтезу систем автоматичного керування ректифікаційними колонами є розробка систем керування децентралізованої структури, яка містить автономні одновимірні регулятори. Це можуть бути як регулятори, які знаходяться в межах класичної теорії керування, так й регулятори інших типів (адаптивні, нечіткі, нелінійні, тощо), при умові що вони одновимірні. В межах децентралізованого підходу важливою є проблема вибору каналів керування (вибору конфігурації). Від розв'язку цієї проблеми залежить стійкість системи керування у цілому, її показники якості й потенційна відповідність технологічному регламенту виробництва. Розглянуті методи вибору конфігурації децентралізованої системи керування на базі моделей статички й динаміки ректифікаційних колон. Розглянуті переваги й недоліки застосування таких методів вибору конфігурації як RGA, RIA, ERGA, RRA. На прикладах моделей ректифікаційних колон показані особливості й обмеження кожного з них. Крім того, увага приділена методам вибору конфігурації, стійкої до відключення окремих регуляторів. Розглянуто метод розрахунку індексу Нідерлінського NI та індексу LII. На прикладі розглянуто застосування для складних об'єктів матриць PRGA й розрахунку на їх базі індексу інтегрованості ICI.

Ключові слова: конфігурація децентралізованої системи керування, ректифікаційна колона, індекс Нідерлінського, матриця Брістоля, RGA, PRGA, NI, RRA, ERGA, ICI, LII, інтегрованість.

Вступ

Найбільш істотна властивість багатовимірних технологічних об'єктів керування (ОК), до яких відносяться ректифікаційні колони (РК) – це наявність перехресних зв'язків в об'єкті керування. Тобто кожна вхідна змінна впливає на всі чи деякі вихідні змінні. Ця властивість, з одного боку, значно ускладнює задачу синтезу систем автоматичного керування (САК), а з іншого – відкриває необмежені можливості до застосування різних підходів до їх синтезу.

Однією з репрезентативних робіт, в якій узагальнено багаторічний досвід дослідження особливостей РК як об'єкту керування й частково досвід розробки систем керування різних авторів є робота [1]. З самого початку досліджень систем керування РК спеціалісти звернули увагу на те, що між контурами керування РК, наприклад контурами керування температурами низу й зверху, чи контуром керування тиском і контуром керування температурою зверху, може виникати суттєвий конфлікт, причина якого полягає в наявності значних перехресних впливів між каналами керування. Такий

конфлікт приводить до занадто коливальних перехідних процесів чи взагалі втрати стійкості системи керування.

Ідеальною конфігурацією на початку промислової експлуатації САК для бінарних РК вважалась так звана LV-конфігурація [1, 2], яка передбачала керування концентрацією дистилляту шляхом зміни витрати флегми й керування концентрацію нижнього продукту шляхом зміни витрати кубового продукту, який повертається на підігрів. Така конфігурація відноситься до двохточкових, тобто ставить за мету як досягнення заданої концентрації дистилляту, так й мінімізації втрати ключового компоненту в кубовому продукті [1]. Але дуже сильний перехресний вплив поставив перед інженерами складний вибір: значно ослабити якість керування, значно зменшивши коефіцієнти передачі регуляторів чи відмовитись від задачі стабілізації концентрації кубового продукту. При проектуванні багатьох, в тому числі й нині діючих, САК РК (наприклад, для суміші спирт-вода) інженери як правило вибирають другий варіант, що призводить до деякої втрати продукту. Однак так можливо поступити не завжди: в бінарних РК може бути важливою чистота двох продуктів (наприклад, задача розділення суміші бензол-толуол), а для багатокомпонентних РК сильно ослаблені регулятори будуть призводити до неможливості роботи в межах регламенту й занадто тривалим (добовим) перехідним процесам.

Технологічно розв'язати таку проблему виявилось неможливим. Більш того, розвиток технологічних агрегатів йде в теорії керування у напрямку підвищення енергоефективності, що ще більш ускладнює проблему й робить її все більш актуальною. Отже залишається її розв'язувати шляхом застосування методів керування.

Основна ідея побудови децентралізованої САК полягає в значному спрощенні задачі синтезу, що має звестись до визначення налаштувань декількох незалежних регуляторів простої структури [3]. В промислових САК це як правило стандартні регулятори [4], налаштування яких можливо визначити без інженерних математичних пакетів й при необхідності підстроїти емпірично під час налагоджувальних робіт.

Фактично єдиним шляхом розв'язку проблеми перехресних зв'язків в межах децентралізованої структури САК є вибір максимально автономної конфігурації. Тобто треба визначити, який з можливих виходів з яким можливим входом ОК слід зв'язати в контур керування, щоб конфлікт між контурами був мінімальним. Множина можливих входів й виходів задається метою керування і визначається вимогами технологічного регламенту та економічними обмеженнями, а також технічними можливостями виміряти концентрацію ключового компоненту (тобто слід оцінити наявність давача прямого вимірювання концентрації, швидкість й точність вимірювання, тощо).

Найбільш докладною з тематики, яка розглядається, є монографія [5], більшість прикладів в якій приведено при використанні моделей РК. Однак дослідження в цій галузі не припинились, що робить актуальним осучаснення проблеми шляхом переосмислення властивостей відомих методів й врахування особливостей розроблених нових.

Методи вибору конфігурації на основі моделі статички при умові ідеального керування з використанням всіх контурів

Класичним методом аналізу взаємозв'язків в моделі ОК є метод матриць Брістоля (RGA, Relative Gain Array) [6]. Цей метод став популярним й є основним й зараз завдяки його наступним перевагам: вимагається мінімальна інформація про ОК (тільки матриця статичних коефіцієнтів); не залежить від одиниць вимірювання; результат представляється в вигляді матриці, яка легко розраховується й результати якої легко зрозуміти. Розглянемо ОК, який описано матрицею передатних функцій (МПФ) $P(s)$. Введемо матрицю коефіцієнтів $P_0=P(0)$. Правило розрахунку RGA має вигляд

$$RGA(P(s)) = \lambda(P_0),$$

де для довільної числової матриці M , яка має обернену, $\lambda(M) \triangleq M \otimes M^{-T}$, а знак \otimes означає поелементний добуток матриць.

Наприклад, розглянемо розрахунок RGA для моделі невеликої РК розділення суміші ізопропіла з водою, яка описується МПФ [7]

$$P(s) = \begin{bmatrix} \frac{3.74}{(1803 \cdot s + 1) \cdot (78 \cdot s + 1)} & \frac{-3.45 \cdot e^{-53.3 \cdot s}}{(2698 \cdot s + 1) \cdot (72 \cdot s + 1)} \\ \frac{5.21 \cdot e^{-43 \cdot s}}{(2864 \cdot s + 1)} & \frac{-2.36}{(1275 \cdot s + 1) \cdot (525 \cdot s + 1)} \end{bmatrix}$$

Ця модель є не дуже складною, але одночасно репрезентативною для подальшого аналізу методів. Керуючими впливам є потужність ребойлера u_1 (номінал 4100 Вт) й витрата флегми u_2 (номінал 65 г/хв). Керованими змінними є температура зверху y_1 (номінал 59.7 C) й температура знизу y_2 (номінал 78.2 C). Тоді матриця RGA має наступний вигляд:

$$RGA = \begin{bmatrix} -0.9648 & 1.9648 \\ 1.9648 & -0.9648 \end{bmatrix}$$

Для вибору каналів для децентралізованого керування сформульовані наступні правила: 1) бажано обирати канали, у яких $\lambda_{i,j}$ близькі до 1 (ідеальне керування); 2) не бажано обирати канали з $\lambda_{i,j}$ близьких до 0, що означає, що не вдається уникнути взаємозв'язків каналів в системі керування; 3) заборонено використовувати канали з $\lambda_{i,j} < 0$. Теоретичне обґрунтування методу RGA проведено значно пізніше визнання його цінності в роботі [8]. В цій роботі уточнено, що можуть означати негативні значення $\lambda_{i,j}$. Це може означати, що САК буде нестійкою: – за всіма контурами; – тільки за знайденим контуром; – тільки за знайденим контуром, але в повній системі інші контури стабілізують цей контур. Дослідження властивостей матриці RGA й методів розрахунку її на базі матриць з особливою структурою типу проводиться й зараз [9], однак такі дослідження більш цікаві з теоретичної точки зору й для розробки більш досконалих методів в галузі прикладної математики.

Варіантом матриці RGA, є матриця RIA (Relative Interaction Array) [10], яка отримується шляхом ділення одиниці на кожний елемент матриці RGA чи іншої матриці з подібними властивостями з відніманням від результату одиниці:

$$RIA(P_0) = \left\{ \phi_{i,j}(P_0) \triangleq \lambda_{i,j}^{-1}(P_0) - 1 \right\}.$$

Мотивацією для цієї модифікації матриці Брістоля стала складність вибору між альтернативними конфігураціями при застосуванні звичайного RGA. Якщо $\phi_{i,j} = 0$, то перехресний вплив каналів відсутній (тобто це бажане значення для вибору); якщо $1 > \phi_{i,j} > 0$, то напрямком перехідних процесів при замкненому контурі такий же, як й в розімкненому; якщо $\phi_{i,j} < 0$, то напрямком зворотній і буде такий же, як й при відсутності замкнення; якщо $|\phi_{i,j}| > 1$, то перехресний вплив є домінуючим.

Проблема вибору конфігурації за матрицею з властивостями RGA в складних випадках для об'єктів 3x3 та більших, може бути розв'язана й іншими способами. За нашою думкою серед розрахунково складних способів найкращим є Угорський

алгоритм, потенціал застосування якого для матриць RGA-типу продемонстровано в роботі [11].

Модифікації й уточнення методу RGA з метою врахування різних особливостей ОК й зараз представляють інтерес для науковців. Більшість з них нехарактерна для моделей РК й задач керування РК, тому докладний аналіз їх проводити не будемо і лише наведемо перелік основних напрямків досліджень: аналіз неквадратних матриць [9], аналіз матриць нестійких ОК [12, 13], ОК з диференціаторами й інтеграторами [14]. Для задач керування РК, при деяких умовах, може бути цікавим розрахунок матриці RGA при неточній моделі ОК [15–19] і з характерними нелінійностями [20]. Деякі конфігурації приводять до дуже великих значень $\lambda_{i,j}$, що ставить під питання результати аналізу за матрицею, така проблема на прикладі РК розглянута, наприклад, в роботі [21].

Методи вибору конфігурації на основі моделі статички при умові ідеального керування з властивістю інтегрованості

Досвід застосування RGA-аналізу для різних ОК показав, що для конфігурації САК бажано ввести додаткову умову – інтегрованість [22]. Децентралізована САК є інтегрованою, якщо вона залишається стійкою: 1) при зміні всіх коефіцієнтів регуляторів на множник, який змінюється в діапазоні $0 < k \leq 1$; 2) при встановленні коефіцієнтів будь-якої кількості регуляторів рівною 0 (ця умова є також однією з умов живучості промислової САК [23]).

Першим з методів цього типу й досі поширеним є індекс Нідерлінського [11]. Він є розрахунково простим для систем 2x2. Припустимо, що є САК з двома незалежними контурами керування, в яких задіяні регулятори з інтегратором. Необхідно проаналізувати чи залишиться працездатною (стійкою в слабкому визначенні) система керування при відключенні одного з регуляторів. Значення індексу, наприклад, для першого ОК, розраховується наступним чином:

$$P_1 = \text{diag}(P_0); \quad P_2 = \text{diag}_2(P_0) \\ NI_1 = \det(P_0)/\det(P_1) = -1.0364; \quad NI_2 = \det(P_0)/\det(P_2) = 0.5089$$

де $\text{diag}(\bullet)$ – квадратна матриця, з головною діагоналлю вихідної матриці; $\text{diag}_2(\bullet)$ – квадратна матриця, з побічною діагоналлю вихідної матриці.

Підставивши, одержимо

$$P_0 = \begin{bmatrix} 3.74 & -3.45 \\ 5.21 & -2.36 \end{bmatrix}, P_1 = \begin{bmatrix} 3.74 & 0 \\ 0 & -2.36 \end{bmatrix}, P_2 = \begin{bmatrix} 0 & -3.45 \\ 5.21 & 0 \end{bmatrix}$$

Негативне значення індексу означає, що така конфігурація є нестійкою. Отже, бачимо, що результат змістовно співпадає з RGA, зв'язок за прямою діагоналлю призведе до втрати стійкості системи. Найкращим є значення, яке ближче до 1.

Метод вимагає перевіряти кожну конфігурацію окремо й, як і RGA, обмежений статикою. Його недоліком в класичній постановці є те, що умова стійкості є строгою тільки для систем 2x2, в більших системах стійкість вже буде залежати від налаштувань регулятора.

Для спрощення порівняння декількох конфігурацій використовується індекс інтегрованості (ICI), що використовує матрицю RIA.

Значення цього індексу для системи 2x2 розраховується доволі просто.

Наприклад, для системи першим ОК $P(s)$ 2x2

$$P_0 = \begin{bmatrix} 3.74 & -3.45 \\ 5.21 & -2.36 \end{bmatrix},$$

теоретично можливі лише дві конфігурації $u_1 - y_1, u_2 - y_2$ і $u_2 - y_1, u_1 - y_2$.

$$M_{1-CNF1} = \begin{bmatrix} 3.7400 & -3.4500 \\ 5.2100 & -2.3600 \end{bmatrix}, M_{1-CNF2} = \begin{bmatrix} -3.4500 & 3.7400 \\ -2.3600 & 3.7400 \end{bmatrix}.$$

Як показав RGA аналіз працездатною є тільки остання – CNF_2 , тому розрахуємо RIA тільки для неї

$$RIA(M_{1-CNF2}) = \begin{bmatrix} -0.4911 & -2.0364 \\ -2.0364 & -0.4911 \end{bmatrix}$$

$$ICI_{CNF2} = |-0.4911| + |-0.4911| = 0.9821.$$

Найкращою є конфігурація, у якій ICI найменший при умові стійкості системи за матрицею RGA.

Для того, щоб проводити аналіз систем 3x3 й більше був розроблений апарат матриць часткової керуваності (PRG, Partial Relative Gain) [24]. Візьмемо, наприклад, модель з роботи, яка описує колону для розділення 3-х компонентної суміші [25].

$$P_0 = \begin{bmatrix} 153.45 & -179.34 & 0.23 \\ -157.67 & 184.75 & -0.10 \\ 24.63 & -28.97 & -0.23 \end{bmatrix}, y = \begin{pmatrix} x_{D1} \\ x_{B1} \\ x_{S2} \end{pmatrix}, u = \begin{pmatrix} L \\ V \\ S \end{pmatrix}.$$

В даній моделі вимірюваними змінними є концентрація ключового компоненту в верхній частині РК x_{D1} , в нижній частині РК x_{B1} , в боковому потоці x_{S2} . Керуючими впливами є витрата флегми L , витрата кубового продукту на підігрів V , витрата бокового потоку S . Концентрації вимірюються в мольних долях, одиниці керуючих впливів не вказані.

Розрахуємо матрицю RGA:

$$RGA(P) = \begin{bmatrix} 443.07 & -441.82 & -0.25 \\ -480.55 & 481.37 & 0.18 \\ 38.48 & -38.55 & 1.07 \end{bmatrix}$$

Бачимо, що випадок, навіть в статистиці, доволі складний, оскільки чотири коефіцієнти негативні, два коефіцієнти дуже значно відрізняються від 1, один коефіцієнт значно відрізняється від 1. В цьому випадку єдиною можливою є тільки конфігурація за прямою діагоналлю.

При керуванні за однією конфігурацією з трьома змінними інтегрована система має залишитись працездатною при наступних варіантах (де признак 1 означає відключення контуру керування)

$$V = \{(0, 0, 0), (1, 0, 0), (0, 1, 0), (1, 1, 0), (0, 0, 1), (1, 0, 1), (0, 1, 1), (1, 1, 1)\}$$

При умові, що ми не працюємо з ОК з каналами, які описуються інтегральними ланками, будемо вважати що дослідження працездатності конфігурації (1,1,1) не має сенсу. Крім того, спростимо задачу, відмовившись від дослідження ситуацій з відімкненням двох регуляторів. Тоді залишиться чотири конфігурації для дослідження: $\{(1,0,0), (0,1,0), (0,0,1), (0,0,0)\}$.

$$RIA(CL_{000}) = RIA(P_0) = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -4.95 \\ -1 & -1 & 4.55 \\ -0.97 & 1.03 & -0.07 \end{bmatrix}$$

$$P_{100} = \begin{bmatrix} 184.75 & -0.10 & -157.67 \\ -28.97 & -0.23 & 24.63 \\ -179.34 & 0.23 & 153.45 \end{bmatrix}$$

$$P_{100(11)} = \begin{bmatrix} 184.75 & -0.10 \\ -28.97 & -0.23 \end{bmatrix}, P_{100(22)} = 153.45, P_{100(12)} = -157.67, P_{100(21)} = [-179.34 \quad 0.23]$$

$$CL_{100} = P_{100(11)} - P_{100(12)} \cdot (P_{100(22)}^{-1} \cdot P_{100(21)}) = \begin{bmatrix} 0.48 & 0.14 \\ -0.18 & -0.27 \end{bmatrix}, RIA(CL_{100}) = \begin{bmatrix} -0.20 & -5.07 \\ -5.07 & -0.20 \end{bmatrix}$$

$$P_{010} = \begin{bmatrix} 153.45 & 0.23 & -179.34 \\ 24.63 & -0.23 & -28.97 \\ -157.67 & -0.10 & 184.75 \end{bmatrix}$$

$$P_{010(11)} = \begin{bmatrix} 153.45 & 0.23 \\ 24.63 & -0.23 \end{bmatrix}, P_{010(22)} = 184.75, P_{010(12)} = \begin{bmatrix} -179.34 \\ -28.97 \end{bmatrix}, P_{010(21)} = [-157.67 \quad -0.10]$$

$$CL_{010} = P_{010(11)} - P_{010(12)} \cdot (P_{010(22)}^{-1} \cdot P_{010(21)}) = \begin{bmatrix} 0.40 & 0.13 \\ -0.09 & -0.25 \end{bmatrix}, RIA(CL_{010}) = \begin{bmatrix} -0.13 & -7.83 \\ -7.83 & -0.13 \end{bmatrix}$$

$$P_{001} = \begin{bmatrix} 153.45 & 0.23 & -179.34 \\ -157.67 & -0.10 & 184.75 \\ 24.63 & -0.23 & -28.97 \end{bmatrix}$$

$$P_{001(11)} = \begin{bmatrix} 153.45 & 0.23 \\ -157.67 & 184.75 \end{bmatrix}, P_{001(22)} = -0.23, P_{001(12)} = \begin{bmatrix} 0.23 \\ -0.10 \end{bmatrix}, P_{001(21)} = [24.63 \quad -28.97]$$

$$CL_{001} = P_{001(11)} - P_{001(12)} \cdot (P_{001(22)}^{-1} \cdot P_{001(21)}) = \begin{bmatrix} 178.08 & -208.31 \\ -168.38 & 197.35 \end{bmatrix}, RIA(CL_{001}) = \begin{bmatrix} -1 & -1 \\ -1 & -1 \end{bmatrix}$$

За матрицями RIA для кожного відімкненого керування можливо перевірити умову інтегрованості. Критерій перевірки має вигляд

$$\sum \text{diag}(RIA) \leq -1.$$

Цьому критерію відповідають всі досліджені випадки.

Критерій ICI за матрицями в даному випадку розраховується наступним чином:

$$ICI = \sum |\text{diag}(\text{RIA}(\text{CL}_{000}))| + \sum |\text{diag}(\text{RIA}(\text{CL}_{100}))| + \sum |\text{diag}(\text{RIA}(\text{CL}_{010}))| + \sum |\text{diag}(\text{RIA}(\text{CL}_{001}))| = 2.07 + 0.40 + 0.26 + 2 = 4.73$$

Якщо можливо декілька конфігурацій, то найкращою вважаємо конфігурацію, що має найменше ненульове значення.

Обмеження методів аналізу на основі моделей статички

Простота методу RGA й індексу Нідерлінського, особливо при застосуванні для моделей 2x2, має й обернену сторону, яка виходить зі спрощення задачі аналізу ОК до аналізу його статички. Найбільш яким прикладом обмеження методу RGA є факт невизнання відомими науковцями галузі керування ректифікацією, які орієнтувались на моделі статички, працездатності технологічної ДВ-конфігурації [1] (стабілізації концентрацій продуктів за допомогою зміни їх витрат [26]). На практиці, виявилось що така конфігурація працездатна, хоча й не відповідає умові інтегрованості.

Показовою є математична модель ОК, яка приведена в роботі [27]

$$P(s) = \begin{bmatrix} \frac{5}{4 \cdot s + 1} & \frac{2.5 \cdot e^{-5 \cdot s}}{(2 \cdot s + 1)(15 \cdot s + 1)} \\ \frac{-4 \cdot e^{-6 \cdot s}}{20 \cdot s + 1} & \frac{1}{3 \cdot s + 1} \end{bmatrix}$$

Матриця Брістоля для цієї моделі має вигляд

$$RGA = \begin{bmatrix} 0.(3) & 0.(6) \\ 0.(6) & 0.(3) \end{bmatrix}.$$

Таким чином, метод пропонує застосування непрямої діагоналі, тобто конфігурації зі значними перехресними впливами. Для цього, щоб це перевірити проведемо математичне моделювання перехідних процесів з САК з ПІ-регуляторами, які налаштовані Matlab-програмою pidtune (відмітимо, що результати аналогічні й при застосуванні будь-якого з універсальних методів налаштування регуляторів ПІД-типу [4]). В якості еталону для порівняння будемо використовувати САК, яка керує тим самим ОК з нульовими перехресними впливами. Результати моделювання представлені на рис. 1.

Хоча вказана в цьому розділі модель є показовою теоретичною конструкцією, РК з подібними до неї динамічними властивостями – явище доволі типове. Така динаміка характерна для перехресних впливів багатоконпонентних колон [28]. В деяких випадках вона можлива й в двокомпонентних РК – як правило це колони з невеликою кількістю тарілок, які застосовуються в періодичних процесах чи для отримання специфічних компонентів в умовах лабораторії. Таким чином, для вибору конфігурації децентралізованої САК РК метод RGA й подібні методи в парадигмі статички не можуть вважатись універсальними. Більш докладний аналіз обмежень методу RGA для різних задач керування РК в різних технологічних конфігураціях наведено в роботі [1].

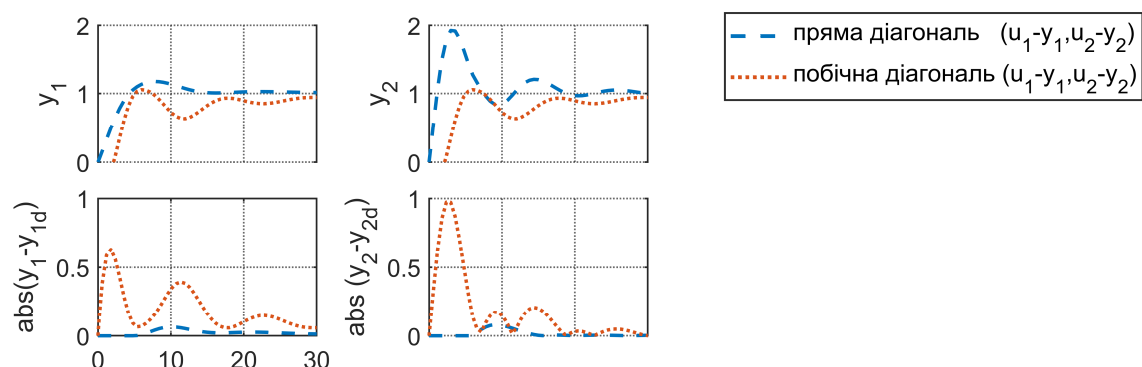


Рис. 1. Перехідні процеси в САК з ОК $P(s)$ при ПІ-регулюванні за прямою й побічною діагоналлю ОК (верхній рядок) й їх порівняння з керування ОК без перехресних впливів (нижній рядок, де y_{1d} , y_{2d} – виходи системи з тими ж регуляторами, що використані в прямий діагоналі, але включеними на ОК перехресними зв’язками, встановленим рівними нулю.)

В простих випадках за структурою динамічної моделі, підмоделі каналів якої описуються типовими ланками, можливо встановити непридатність методу RGA аналітично. Однак в загальному випадку простого методу, що не вимагає частотного аналізу чи імітаційного математичного моделювання, не запропоновано.

Частотні методи аналізу конфігурації на основі моделі динаміки

Обмеження підходу в рамках статички, призвели до розвитку методів, що враховують динамічні властивості ОК. Природньо, що для розв’язку задачі врахування динамічних властивостей ОК спершу робився акцент на методах малої розрахункової складності в частотній площині. З частотної точки зору метод RGA досліджує систему на нульовій частоті. Якщо розрахувати регулятори, то можливо досліджувати систему вже в області частот біля полоси пропускання замкненої САК – ця процедура узагальнена в роботі [29].

Недоліком деяких методів першого покоління було те, що вони орієнтувались на вибір однієї чи деяких критичних частот, на яких проводився аналіз динамічної системи. Однак, наприклад, усереднена частота зрізу САК РК, яка використовується в деяких частотних методах аналізу, може бути доволі ефемерною величиною, якщо розглядається задача керування ОК одночасно з швидкими (наприклад, тиск) й інерційними (наприклад, концентрація) параметрами. Це може робити результати такого аналізу недостовірними.

З розвитком комп’ютерних технологій розрахунок амплітудно-частотних характеристик для передатної функції будь-якої структури (в т. ч. з декількома частотами зрізу) в довільному діапазоні перестав бути проблемою. Це призвело, наприклад, до появи методу ERGA, в основу якого покладено метод вибору робочої області без регулятора, орієнтуючись на критичні частоти передатних функцій моделі ОК [30].

Задача методу ERGA, як й RGA – оцінити принципово оптимальну конфігурацію для децентралізованої САК з будь-яким раціональним SISO регулятором зі зворотним зв’язком.

Для частотного аналізу важливий такий параметр як пропускна здатність. Пропуска здатність є непрямым показником часу перехідних процесів й робастності системи. Система з великою пропускною здатністю як правило має швидкі перехідні процеси. Однак, у той же час для таких систем характерна низька робастність й нестійкість до шумів. Відповідно, висока робастність, стійкість до шумів і повільні перехідні процеси характерні для систем з малою пропускною здатністю.

Для того, щоб визначити компромісний варіант між цими полюсами можливо ввести термін ефективної пропускної здатності. Ефективною пропускною здатністю можливо вважати таку, в якій відношення похибки керування до величини завдання є порівняно малою.

Алгоритм розрахунку матриці ERGA наступний.

Для кожного каналу: задатись інтервалом частот для дослідження в передатній функції; побудувати амплітудно-частотну характеристику в заданому інтервалі; за модулем амплітуди визначити початкову максимальну точку й знайти частоту, яка відповідає 0.7 цієї точки, записавши її значення в матрицю $M_{i,j}$.

Матриця критерію має наступний вигляд:

$$ERGA(P_0) = E \otimes E^{-T}, \text{ де } E(P_0) = P_0 \otimes M(P_0).$$

Для ОК (3)

$$ERGA = \begin{bmatrix} 0.93 & 0.07 \\ 0.07 & 0.93 \end{bmatrix}, \text{ де } E = \begin{bmatrix} 1.46 & 0.18 \\ -0.23 & 0.39 \end{bmatrix}.$$

Бачимо, що ERGA дає оптимальний з точки зору властивості системи подолати збурення й вийти на завдання варіант – пряму діагональ. Пряму діагональ для цього випадку, скоріш за все, запропонують й всі інші методи аналізу зв'язності каналів ОК, які враховують динаміку. Особливістю ERGA в порівнянні з іншими подібними методами є те, що вага коефіцієнтів передачі й критичних частот в цьому методі однакова.

Недоліком ERGA, як й інших методів частотного аналізу моделей каналів, є те, що для моделей високого порядку відсутній простий зв'язок між частотними й часовими властивостями ОК. Тому для ОК, який описано моделями високого порядку зі складною динамікою, метод може давати некоректні результати.

Методи аналізу конфігурації на основі моделі динаміки з використанням досягнень сучасної теорії керування й оптимізаційних алгоритмів

З розвитком інженерних математичних пакетів та можливостей комп'ютерної техніки з'явився ряд методів аналізу конфігурації, які використовують методи оптимальної й субоптимальної теорії керування [31], а також методи оптимізації.

Наприклад, можливо синтезувати багатовимірний оптимальний пропорційний регулятор для ОК й на основі аналізу отриманих матриць регулятора зробити вибір [32]. Можливо також використовувати методи визначення контрольованості й спостережності, аналізувати власні значення замкнених систем зі зворотною моделлю ОК в якості регулятора та ін. Але всі методи, які базуються на положеннях оптимальної й субоптимальної теорії керування, стикаються з проблемами формування простору станів, в якому неможливо точно представити запізнення. Треба бути уважним до представлення часових констант, щоб не отримати неспостережну чи некеровану систему і т. п. Ще одним недоліком, що витікає від структури методів, які базуються на матричних рівняннях Ляпунова й Ріккати, є залежність результатів, від масштабу вагових коефіцієнтів, що частіше за все приводе до їх емпіричного вибору.

Характерною роботою, яка формулює оптимізаційну задачу з обмеженнями, об'єктом дослідження якої є РК, є робота [33]. В цій роботі задача вибору конфігурації ускладнюється введенням вимог до робастності конфігурації і застосування для аналізу моделі збурень за складом живлення. Для розв'язку задачі застосовується пошуковий алгоритм з Matlab optimization toolbox. Ще більш складна задача ставиться в роботі [34], в якій проблема вибору конфігурації об'єднується з проблемою оптимального

налаштування децентралізованих регуляторів і розглядається як багатокритеріальна з побудовою множини Парето і вибору найкращого розв'язку з урахуванням пріоритетності критеріїв. Час оптимізації для систем 2x2 і 3x3 на сучасному ПК вимірюється в годинах, що в принципі припустимо для розв'язку задачі синтезу децентралізованих САК нескладними РК. Недоліками запропонованого методу є те, що він не враховує задачу інтегрованості й не враховує обмеження керуючих впливів. Крім того, обрані критерії оптимізації сформульовані не зовсім коректно.

Хоча цей напрямок досліджень часто дозволяє досягнути ефективних рішень й давати більш точні чи навіть оригінальні результати, однак в цілому методи цього класу виявляються занадто складними до застосування й втрачають свій універсалізм.

Методи аналізу конфігурації на основі моделі динаміки з використанням поканальної оцінки значення інтегрального критерію

Ідея цього класу методів подібна до частотних: залишаючись в межах загальної формули розрахунку RGA, змінити коефіцієнти вихідної матриці таким чином, щоб вони враховували деякий інтегральний критерій перехідного процесу. Це вимагає відповіді на два питання: який критерій доцільний і який час моделювання досліджувати. Порівняно нещодавно був запропонований комплекс методів RRA [35]. Комплекс методів перевірявся на декількох моделях РК й, на нашу думку, метод CI-TA-RRA серед 4 запропонованих одночасно простий й показовий для застосування щодо моделей ОК, які мають в своєму складі запізнення. Майже всі моделі РК описуються чи можуть бути зведені до моделей з запізненням. Формула для розрахунку елементів матриці з подібними до RGA властивостями має наступний вигляд

$$\phi_{i,j} = \frac{1}{(T_D + \tau_{\max}) - \tau_{i,j}} \cdot \int_{\tau_{i,j}}^{T_D + \tau_{\max}} y_{i,j}(t) dt,$$

де $\tau_{i,j}$ – час запізнення в каналі ОК, T_D – максимальна постійна часу в багатовимірній моделі, τ_{\max} – максимальний час запізнення в моделі.

Однак, наш досвід показав, що дещо покращує аналіз моделей РК модифікація формули

$$\phi_{i,j} = \frac{1}{(T_{i,j}^{DC} + \tau_{\max}) - \tau_{i,j}} \cdot \int_{\tau_{i,j}}^{T_{i,j}^{DC} + \tau_{\max}} y_{i,j}(t) dt$$

де $T_{i,j}^{DC}$ – постійна часу в (i,j) каналі моделі ОК.

Критерій $RRA(\Phi) = \Phi \otimes \Phi^{-T}$, де $\Phi = \{\phi_{i,j}\}$ і. Найкращою є конфігурація, в якій елементи матриці критерію обов'язково позитивні і бажано ближчі до одиниці.

Методи оцінки важливості регуляторів контурів децентралізованої САК з використанням поканальної оцінки значення інтегрального критерію

Зміна одного з завдань децентралізованого регулятора у зв'язаній САК обов'язково призведе до виникнення перехрестних впливів, які мають компенсувати інші регулятори. Таким чином по величині впливу на інші регулятори, ми можемо встановити наскільки важливим є якісне налаштування регулятора для якого була проведена зміна завдання. Оскільки, важливість контуру оцінюється в межах регулятора з працездатними налаштуваннями, аналіз впливу може допомогти інженеру

знайти тонкий баланс регуляторів, коректуючи параметри методу налаштування (час регулювання, припустиму величину перерегулювання, тощо).

Критерій розраховується наступним чином [36]

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^n LI_{i,j}}{\max_i \sum_{j=1}^n LI_{i,j}} \cdot 100\%,$$

де $LI_{i,j} = ISE_j / ISE_i$; ISE_i – величина суми інтегралів від квадратів всіх виходів за виключення i -го та відхилення i виходу від завдання (1% номінального значення).

Наприклад, дослідимо перехідний процес за завданням для моделі ОК (1) по двом контурам керування.

При подачі завдання двом регуляторам $r = \{(59.7 \cdot 0.01, 0.78.2 \cdot 0.01)\}$ маємо $ISE = [16.09 \ 29.55]$

$$\text{Тоді } LI = \begin{bmatrix} 1 & 1.84 \\ 0.54 & 1 \end{bmatrix}.$$

Звідки отримуємо що важливість регулятора контуру u_2 - y_1 $V_1=100\%$, а регулятора контуру u_1 - y_2 $V_2=54.43\%$.

Відмітимо, в інтегралах замість квадратів виходів можна взяти й модулі виходів (модуль похибки керування, ІАЕ). Але при цьому в розглянутому випадку важливість контурів буде майже однакова.

Висновки

1. При розв'язанні задачі синтезу систем автоматичного керування для ректифікаційних колон як об'єктів керування завжди актуальною є проблема урахування впливу перехресних впливів.

2. Зі збільшенням складності структури ректифікаційної колони (збільшення компонентів, ускладнення структури апарату з додаванням додаткових теплових зв'язків, використання вбудованого в колону реактора та ін.) ця проблема стає гострішою.

3. Типовим підходом до синтезу систем автоматичного керування ректифікаційними колонами, є розробка систем керування децентралізованої структури з автономними одновимірними регуляторами. Це можуть бути як регулятори, які знаходяться в межах класичної теорії керування, так й регулятори інших типів (адаптивні, нечіткі, нелінійні, тощо), при умові, що вони одновимірні.

4. В межах децентралізованого підходу важливою є проблема вибору каналів керування (вибору конфігурації). Від розв'язку цієї проблеми залежить стійкість систем керування у цілому, її показники якості й потенційна відповідність технологічному регламенту виробництва.

5. Методи вибору конфігурації розділяються на такі, які враховують лише коефіцієнти передачі в багатовимірній моделі об'єкту керування, й такі, які враховують також й його динамічні властивості.

6. Наразі, відсутній метод, який дає гарантований результат в усіх випадках, оскільки такий метод скоріше за все буде розрахунково більш складним, ніж просте імітаційне моделювання всіх можливих варіантів конфігурацій. Однак, відомі методи, особливо якщо використовувати не один, а декілька, можуть допомогти відмести

апріорно непрацездатні конфігурації й значно спростити процедуру синтезу децентралізованої системи керування. Аналіз стійкості конфігурацій, що залишились, в випадках складної динаміки також дозволяє вилучити без дослідження непрацюючі конфігурації. Надалі, маючи орієнтовний перелік робочих конфігурацій, при умові що їх більше одної, розробник системи керування має зробити вибір орієнтуючись на інші невраховані в методах аналізу фактори, наприклад поведінку системи керування при різних видах збурень.

7. Задача вибору конфігурації, як правило, ставиться без врахування критерію робастності й без застосування моделі збурень. Прийнято, що ці питання відносяться до задачі вибору параметрів регуляторів, а не до конфігурації.

8. Крім працездатності конфігурації при роботі всіх регуляторів бажаною для виробничих умов є властивість інтегрованості децентралізованої системи керування.

9. Першою властивістю інтегрованості є гарантія того, що система керування при вимкненні одного чи більше регуляторів, залишиться стійкою. Для оцінки такої властивості рекомендується використовувати критерій ІСІ. Другою властивістю інтегрованості є можливість послаблення регуляторів в контурах керування в сторону зменшення без втрати стійкості системи керування. В межах інтегрованої системи керування доцільно досліджувати важливість регуляторів з точки зору їх впливу на інші важливі змінні. Це дозволяє інженеру більш усвідомлено вибрати метод налаштування децентралізованого регулятора для кожного контуру керування, який дозволяє визначити не просто налаштування регулятора, а, наприклад швидкість чи відповідність деякому інтегральному критерію.

10. Більшість працюючих промислових технологій й обладнання були розроблені у 20 столітті і, частіше за все, не наприкінці його. Якість створеними за цими технологіями продукції, як правило, не може бути покращена. Тому адекватними до цих технологій були децентралізовані системи керування, які і є зараз найбільш розповсюдженими. Відмітимо, що розробка систем керування технологічним обладнанням є системною задачею. Використання децентралізованих систем керування потребувало наявності в організаційній структурі підприємства операторів, кожний з яких відслідковує функціонування окремого агрегату. Процес проектування систем керування є спрощеним і в ньому мало місця займає створення та використання сучасних багатовимірних моделей об'єктів керування, а всі неузгодженості покладено на етап налагодження системи керування в процесі пуску.

11. При переході до сучасних технологічних процесів, кіберфізичних систем, які, в випадку ректифікаційних колон, мають характеризуватися високою якістю розділення і енергоефективністю, повинні використовувати сучасні системи керування. Одночасно, перехід на цей рівень управління має змінити всю технологію розробки і впровадження таких систем, тобто вони повинні постачатися, як прийнято в комп'ютерній техніці, as is, plug and play. Основний вектор розвитку технологій розробки кіберфізичних систем в промисловості направлений на впровадження автоматично працюючих виробництв, можливо, невисокої потужності, але працюючих з високою ефективністю.

12. В наступному аналітичному огляді планується розглянути потенціал сучасних багатовимірних систем керування. Оскільки, в будь-якій багатовимірній системі можливо виділити більш важливі й менш важливі канали керування, то методи вибору конфігурації залишаються актуальними й в задачах розробки таких систем.

Список літератури

1. Skogestad S. The Dos and Don'ts of Distillation Column Control. *Chemical Engineering Research and Design*. 2007. V. 85, No 1. P. 13–23.
2. Thone M., Potters M., Baldi S. Control configurations in distillation columns: A comparative study. *European Control Conference, Aalborg*. 2016. P. 37-42.
3. Shen Y., Cai W.-J., Li S. Multivariable Process Control: Decentralized, Decoupling, or Sparse? *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010. V. 49, No 2. P. 761–771.
4. Стопакевич А. А., Стопакевич А. А. Проектирование робастных регуляторов объектами с большим запаздыванием. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2016. Т.1, № 79. С. 48–56.
5. Sedigh A. K., Moaveni B. Control Configuration Selection for Multivariable Plants. Berlin/Heidelberg : Springer-Verlag, 2009.
6. Bristol E. On a new measure of interaction for multivariable process control. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1966. No 11(1). P. 133–134.
7. Huyck B., Brabanter J., Moor B., Impe J., Logist F. Online model predictive control of industrial processes using low level control hardware: A pilot-scale distillation column case study. *Control Engineering Practice*. 2014. V. 28. P. 34–48.
8. Grosdidier P., Morari M., Holt B. R. Closedloop properties from steady-state gain information. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*. 1985. V. 24 (2). P. 221–235.
9. Uhlmann J. On the Relative Gain Array RGA with singular and rectangular matrices. *Applied Mathematics Letters*. 2019. V. 93. P. 52–57.
10. Zhu Z.-X. Variable Pairing Selection Based on Individual and Overall Interaction Measures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1996. V. 35, No 11. P. 4091–4099.
11. Fatehi A., Shariati A. Automatic pairing of MIMO plants using normalized RGA. *Mediterranean Conference on Control & Automation, Athens*. 2007. P. 1-6.
12. Hovd M., Skogestad S. Pairing Criteria for Decentralized Control of Unstable Plants. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1994. V. 33, No. 9. P. 2134–2139.
13. Baban P. Q., Rahimabadi I. N. Input-output pairing criterion applied in the genetic algorithm for unstable linear systems. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2016. V. 64, No. 4. P. 873–876.
14. Hu W., Cai W.J., Xiao G. Decentralized Control System Design for MIMO Processes with Integrators/Differentiators. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2010. V. 49, No. 24. P. 12521–12528.
15. Kadhim A. M. H., Birk W., Gustafsson T. Relative gain array estimation based on non-parametric frequency domain system identification. *IEEE Conference on Control Applications (CCA), Juan Les Antibes (France)*. 2014. P. 110-115.
16. Liao Q., Cai W., Lin C., Wang Y. Control structure selection based on Type-1 and Type-2 T-S fuzzy models for MIMO processes. *IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), Auckland, New Zealand*, 2015. P. 1602-1607
17. Moaveni B., Sedigh A. K. Further Theoretical Results on “Relative Gain Array for Norm-Bounded Uncertain Systems”. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2007. V. 46, No 24. P. 8288–8289.
18. Kariwala V., Skogestad S., Forbes J. F. Relative Gain Array for Norm-Bounded Uncertain Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2006. V. 45, No 5. P. 1751–1757.

19. Jain A., Babu B. V. RGA Analysis of Dynamic Process Models Under Uncertainty. New Delhi: Springer India, 2014. ISBN 978-81-322-1602-5.
20. Glad T. Extensions of the RGA concept to nonlinear systems. *European Control Conference, ECC*. 1999. P.1-6.
21. Skogestad S., Morari M. Implications of large RGA elements on control performance. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1987. V. 26. P. 2323–2330.
22. Arranz M. C., Birk W., Kadhim A. On guided and automatic control configuration selection. *22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)*. 2017. P.1-6.
23. Стопакевич А. А., Стопакевич А. А. Разработка живучих систем управления технологическими установками. *Проблемы региональной энергетики*. 2021. Т. 50, № 2. С. 114–126.
24. Häggblom K. Partial Relative Gain: A New Tool for Control Structure Selection. *AIChE Annual Meeting*, Los Angeles, CA. 1997. Paper 193h.
25. Wolff E.A., Skogestad S. Operation of Integrated Three-Product (Petlyuk) Distillation Columns. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 1995. V. 34. P. 2094–2103.
26. Skogestad S. Dynamics and Control of Distillation Columns - A Critical Survey. Modeling, Identification and Control: A Norwegian Research Bulletin. 1997. V. 18, No 3. P. 177–217.
27. Grosdidier P., Morari M. Interaction measures for systems under decentralized controll. *Automatica*. 1986. № 22 (3). P. 309–319.
28. Стопакевич А. А. Спектр многомерных моделей колонны ректификации нефти для синтеза робастных систем управления. *Холодильна техніка та технологія*. 2015. Т. 51. № 6. С. 94-99.
29. Wolff E.A., Skogestad S., Hovd M., Mathisen K.W. A Procedure for Controllability Analysis. Interactions Between Process Design and Process Control. Oxford: Pergamon Press, 1992. P. 127–132.
30. Xiong Q., Cai W.J., He M.J. A Practical Loop Pairing Criterion for Multivariable Processes. *Journal of Process Control*. 2005. No 15 (7). P. 741–747.
31. Стопакевич А.А. Системный анализ и теория сложных систем. Одесса: Астропринт, 2013. 350 с. ISBN 978-966-190-760-6.
32. Halvarsson B., Carlsson B., Wik T. A New Input/Output Pairing Strategy based on Linear Quadratic Gaussian Control. *IEEE International Conference on Control and Automation* 2009. P.978–982.
33. Agustriyanto R., Zhang J. Worst case of relative disturbance gain array for uncertain distillation system. *Journal of Technology Series*. 2013. V. 16, No 2. P.135-143.
34. Huilcapi V., Blasco X., Herrero J., Reynoso-Meza G. A Loop Pairing Method for Multivariable Control Systems Under a Multi-Objective Optimization Approach. *IEEE Access*. 2019. V. 7. P. 1.
35. Jain A., and B. V. Babu. Relative Response Array: A New Tool for Control Configuration Selection. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*. 2015. V. 6, No 5. P. 356–362.
36. Rahman A. Detection of Control Loop Interaction and Prioritization of Loop Maintenance. *Dhaka: Bangladesh university of engineering and technology*, 2011. 83p.

ANALYTICAL REVIEW OF DISTILLATION COLUMNS DECENTRALIZED CONTROL SYSTEMS DESIGN METHODSA.O. Stopakevych¹, O.A. Stopakevych²¹National University of Intellectual Technologies and Communications,
1, Kuznechna street, Odessa, 65029, Ukraine, stopakevich@gmail.com²National Odessa Polytechnic University,
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine, stopakevich@op.edu.ua

The problem of distillation columns control systems design is actual for many years. When solving the problem of automatic control systems design for distillation columns, the problem of cross-coupling is always relevant. This problem becomes only more severe with increasing the distillation column structure complexity. The column complexity is connected, for example, with number of components, number of additional thermal flows, usage of the built-in column reactor, etc. Standard approach for design of distillation columns automatic control systems is to develop control systems of decentralized structure. Such systems contain autonomous SISO controllers. These can be both controllers, developed within the framework of classical control theory and controllers of other types (adaptive, fuzzy, nonlinear, etc.), assuming that they are SISO. The problem of selecting control pairings (configuration selection) is important within the framework of the decentralized approach for control system design. From the solution of this problem depends the stability of the control system as a whole, its quality indicators and potential compliance with the technological production operating protocol. Methods of choosing the decentralized control system configuration on the basis of distillation columns steady state and dynamics models are considered. Advantages and disadvantages of configuration choosing methods such as RGA, RIA, ERGA, RRA are considered. The features and limitations of each method is shown on the examples of distillation columns models. Additionally, attention is drawn to the methods of selecting a configuration that is resistant to disconnection of individual controllers. The method of calculation of the Niederlinski NI index and the LII index is considered. The application of PRGA matrices for complex plants and the calculation of the ICI integration on PRGA basis are presented on an example.

Keywords: decentralized control system configuration, distillation column, Niederlinski index, Bristol matrix, RGA, PRGA, NI, RRA, ERGA, ICI, LII, integrability.

ЗАХИСТ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ ВІД ЛЮДСЬКОГО ВПЛИВУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ**Ю.М. Ткач¹, О.О. Яковлев², Т.А. Лисиця²**¹Національний університет «Чернігівська політехніка»

Чернігів, вул.Шевченка, 95. E-mail: tkachym79@gmail.com

²АТ «Альфа-банк». м. Чернігів, просп. Перемоги, 62. E-mail: samehada@i.ua

Широке використання комп'ютерних технологій в автоматизованих системах обробки даних та управлінні загострило проблеми захисту інформації, що циркулює в комп'ютерних системах, від несанкціонованого доступу. Захист інформації в комп'ютерних системах має ряд специфічних особливостей, пов'язаних з тим, що інформація, яка не є строго пов'язаною з носієм, може бути легко і швидко скопійована і передана по каналах зв'язку. У комп'ютерних мережах орієнтована інформація належить певним людям, які перебувають в особистій ініціативі або відповідно до офіційних обов'язків, і лише вони мають право використовувати цю інформацію. Така інформація повинна бути захищена від усіх форм зовнішнього втручання, особливо від читання та копіювання цієї інформації, людьми, які не мають права доступу до цієї інформації. Метою роботи є дослідження методів захисту корпоративної мережі, збір та аналіз інформації з приводу політик безпеки. Тому було проведено опитування серед експертів, для виявлення найважливіших місць у технічному захисті, що можуть бути використані проти методів соціальної інженерії. Для цього результати опитування було проаналізовано та вибрано основні критерії. Далі, використовуючи матриці переваг та математичний аналіз було виявлено які критерії з обраних є найважливішими, та вказано фактори котрі можуть як позитивно так і негативно вплинути на обрані основні критерії. Це необхідно для того, щоб розуміти як саме можна захиститися від методів соціальної інженерії.

Ключові слова: інформаційна безпека; людський фактор; політика безпеки; автентифікація; ідентифікація; контроль доступу.

Вступ

На даний час основною проблемою в захисті інформації є людський фактор, а не технічний. Найбільш вразливою ланкою інформаційних систем є саме людина, на котру дуже легко вплинути. Саме тому, дуже важливо створити політику безпеки. Структура, в якій організація прагне задовольнити свої потреби в інформаційній безпеці, кодифікується як політика безпеки. Політика безпеки - це стисла заява відповідальних за систему (наприклад, вищого керівництва) інформаційних цінностей, відповідальності за захист та організаційних зобов'язань.

Ми знаємо дуже велику кількість загроз інформації, яка може бути реалізована як сторонніми зловмисниками, так і сторонніми особами.

Проблеми, що виникають при передачі інформації про безпеку, коли комп'ютерні мережі можна розділити на три основні типи:

– перехоплення - цілісність інформації, що зберігається, але її конфіденційність порушена;

– інформація при заміщенні авторства - ця проблема може мати серйозні наслідки. Наприклад, якщо хтось може надіслати лист від вашого імені (такий тип шахрайства називається підробкою) або веб-сервер може робити вигляд, що зберігає в електронному вигляді, приймати замовлення, номери кредитних карток, але не надсилати ніяких товарів.

– модифікація інформації - в цьому випадку оригінальне повідомлення редагується або змінюється повністю, а інше надсилається одержувачу.

Важливості питань інформаційної безпеки приділяють увагу численні науковці, у тому числі й іноземні. Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що певні аспекти проблем інформаційної безпеки досліджують у наукових працях Н. Стоянов, В. Литвинов, И. Шкиттер, Х. Трунова, Todd Rosenberry, Shiju Sathyadevan, Venkat Rangan, Krishnashree Achuthan, а також досліджують в різних інститутах National Research Council.

Мета і задачі дослідження

Дослідження методів захисту корпоративної мережі, збір та аналіз інформації з приводу політики безпеки. Розгляд та аналіз поняття інформаційної безпеки та ознайомитись з основними принципами запобігання порушень безпеки. Розгляд та аналіз поняття політики безпеки та провести опитування з приводу найважливіших місць захисту від соціальної інженерії. Розгляд та аналіз на рівні корпоративних мереж та методи їх захисту від втручачь ззовні та зсередини

Основна частина

Організації та люди, які використовують комп'ютери, можуть описати свої потреби в інформаційній безпеці та довірі до систем з точки зору трьох основних вимог:

1. Конфіденційність: контроль, хто отримує можливість читати інформацію;
2. Цілісність: гарантування того, що інформація та програми змінюються лише у визначеному та дозволеному порядку; і
3. Доступність: гарантування постійного доступу авторизованих користувачів до інформації та ресурсів [1].

Ці три вимоги можуть підкреслюватися по-різному в різних додатках. Для національної системи оборони головним завданням може бути забезпечення конфіденційності секретної інформації, тоді як система переказу коштів може вимагати суворого контролю цілісності. Вимоги до програм, які підключені до зовнішніх систем, будуть відрізнятися від вимог до програм без такого взаємозв'язку. Таким чином, конкретні вимоги та засоби управління інформаційною безпекою можуть відрізнятися.

Структура, в якій організація прагне задовольнити свої потреби в інформаційній безпеці, кодифікується як політика безпеки. Політика безпеки - це стисла заява відповідальних за систему (наприклад, вищого керівництва) інформаційних цінностей, відповідальності за захист та організаційних зобов'язань [2]. Можна реалізувати таку політику, вживаючи конкретні дії, керуючись принципами управлінського контролю та використовуючи конкретні стандарти, процедури та механізми безпеки. І навпаки, вибір стандартів, процедур та механізмів повинен керуватися політикою, щоб вона була найбільш ефективною.

Для того, щоб бути корисним, політика безпеки повинна не лише визначати потребу в безпеці (наприклад, у конфіденційності - дані повинні розголошуватися лише уповноваженим особам), але також враховувати коло обставин, за яких ця потреба повинна бути виконана, та відповідні операційні стандарти. Без цієї другої частини політика безпеки є настільки загальною, що виявляється марною (хоча друга частина може бути реалізована за допомогою процедур та стандартів, встановлених для реалізації політики). У будь-яких конкретних обставинах деякі загрози є більш вірогідними, ніж інші, і розсудливий розробник політики повинен оцінити загрози, визначити рівень занепокоєння кожному та визначити політику, щодо якої загрозам слід протистояти.

Запобігання порушенням безпеки - основні принципи

Елементи управління призначені для спрямування операцій у правильних напрямках, запобігання або виявлення зловживань та шкідливих помилок, а також раннього попередження про вразливі місця. Організації майже в усіх напрямках діяльності встановили контроль на основі таких ключових принципів:

- Індивідуальна підзвітність,
- Аудит,
- Поділ обов'язку[3].

Ці принципи, визнані в тій чи іншій формі століттями, є основою операційних процедур до комп'ютерів, які дуже добре зрозумілі.

Індивідуальна підзвітність відповідає на питання: Хто відповідає за цю заяву чи дію? Його мета - відстежувати те, що сталося, хто мав доступ до інформації та ресурсів та які дії були вжиті. У будь-якій реальній системі є багато причин, чому фактична експлуатація не завжди може відображати початкові наміри власників: люди роблять помилки, система має помилки, система вразлива до певних атак, широка політика не була правильно перекладена в детальних специфікаціях, господарі передумали тощо.

Для підтримки принципу індивідуальної підзвітності потрібна послуга, яка називається автентифікацією користувачів. Без надійної ідентифікації не може бути відповідальності. Таким чином, автентифікація є вирішальним підґрунтям інформаційної безпеки. Багато систем було проникнуто, коли слабкі або погано керовані служби автентифікації були скомпрометовані, наприклад, вгадуючи неправильно вибрані паролі.

В ідеалі всебічний спектр заходів безпеки забезпечить належну підтримку конфіденційності, цілісності та доступності комп'ютерних систем. На практиці неможливо дати залізні гарантії. Єдиний рецепт ідеальної безпеки - це ідеальна ізоляція: нічого, нічого назовні. Це недоцільно, і тому політика безпеки завжди відобразатиме компроміси між вартістю та ризиком. Активи, що підлягають захисту, слід класифікувати за вартістю, вразливі місця за важливістю, а ризики - за ступенем серйозності, а також відповідно встановити захисні заходи. Слід визнати залишкові вразливості[4].

Планування програми безпеки приблизно нагадує купівлю страховки. Організація враховує наступне:

- Вартість активів, що захищаються.
- Вразливості системи: можливі типи компромісів, як користувачів, так і систем. Яку шкоду може нанести людина, що стоїть перед автоматизованою касовою машиною? А як щодо людини, яка стоїть за цим?
- Загрози: чи існують супротивники для використання цих уразливостей? Чи є у них мотив, тобто щось здобути? Наскільки ймовірна атака в кожному випадку?
- Ризики: витрати на відмови та відновлення. Який найгірший достовірний вид невдачі? Можливості - це смерть, травми, компрометація національної безпеки, промисловий шпигунство, втрата особистого життя, фінансове шахрайство, фальсифікація виборів.

- Ступінь несхильності організації до ризику.

Звідси впливає приблизне уявлення про очікувані збитки. З іншого боку це:

- Доступні контрзаходи (засоби контролю та служби безпеки),
- Їх ефективність,
- Їх прями витрати та альтернативні витрати на їх встановлення.

Потім плани безпеки стають діловим рішенням, можливо, пом'якшеним юридичними вимогами та врахуванням зовнішніх.

В ідеалі контроль вибирається в результаті ретельного аналізу. На практиці найважливішим фактором є те, які засоби контролю доступні. Більшість покупців комп'ютерних систем не можуть дозволити собі мати систему, розроблену з нуля для

задоволення своїх потреб, обставина, яка здається особливо вірною у випадку потреб безпеки. Таким чином, замовник зводиться до вибору з числа вже існуючих рішень з надією, що одне з них відповідатиме визначеним потребам.

Оскільки безпека - явище слабкої ланки, програма захисту повинна бути багатовимірною. Незалежно від цілей політики безпеки, не можна повністю ігнорувати будь-яку з трьох основних вимог - конфіденційність, цілісність та доступність - які підтримують одна одну. Наприклад, конфіденційність необхідна для захисту паролів. Паролі, у свою чергу, сприяють цілісності системи, контролюючи доступ та забезпечуючи основу для індивідуальної відповідальності[5]. Самі особи, що контролюють конфіденційність, повинні бути несприйнятливими до фальсифікацій - це питання добросовісності. І в тому випадку, якщо щось піде не так, адміністративний персонал і персонал, що займається технічним обслуговуванням, повинен мати можливість втрутитися, щоб виправити ситуацію - проблема щодо наявності.

Ідентифікація користувача

Усі опитані вважали, що унікальна ідентифікація (ID) для кожного користувача та автоматичне призупинення посвідчення особи для певної кількості спроб несанкціонованого доступу є важливими. Здатність запобігти одночасному використанню посвідчення особи вважалася важливою для 90 відсотків опитаних осіб. Коментар полягав у тому, що цією можливістю слід керувати на основі ідентифікатора або джерела доступу.

Вісімдесят три відсотки опитаних погодились, що важливо, щоб дата, час та місце останнього використання були відображені користувачеві під час входу в систему. Зауважили, що ця функція також повинна бути доступна в інший час. Той самий номер вимагав можливості присвоєння користувачеві терміну дії для авторизації доступу до системи. Коментарі щодо цього пункту полягали в тому, що потрібна можливість вказати дату активного в майбутньому для ідентифікаторів і що потрібна можливість повідомити системного адміністратора про те, що термін дії ідентифікатора закінчується. Сімдесят три відсотки вважали, що можливість обмеження доступу до системи певним часом, днями, датами та / або з певних місць є надзвичайно важливою.

Перевірка або автентифікація користувача

Усі опитані вважали, що запобігання повторному використанню прострочених паролів, примусове змінення пароля в системі, постійне запрошення пароля та перевірка ідентифікатора та пароля під час входу - це всі необхідні заходи безпеки.

Дев'яносто сім відсотків вважали важливими можливості реалізації пароля із шести або більше буквено-цифрових символів та збереження паролів, зашифрованих у системі. Вісімдесят сім відсотків вважали, що автоматична перевірка для усунення простих паролів має бути важливою особливістю, хоча одна особа вважала, що в цьому випадку важко буде знати, на що перевіряти.

Шістдесят відсотків бачили можливість взаємодії з динамічним маркером пароля важливою функцією. Однією з рекомендацій було дослідити використання піктограм, які будуть призначені користувачам як керівництво для вибору значущих (легко запам'ятовуються) паролів. Тридцять три відсотки вважали генератор випадкових паролів важливим; 7 відсотків не хотіли одного.

Контроль доступу до файлів

Усі опитані вважали надзвичайно важливим мати можливість обмежити доступ до файлів, програм та баз даних. Лише 60 відсотків вважають, що можливість обмеження доступу до визначеного часу або доби повинна бути важливою. Хоча всі співробітники інформаційної безпеки фінансових організацій вважали, що така

можливість має бути надзвичайно важливою, принаймні деякі представники всіх інших категорій підприємств вважали за краще, щоб така функція була обов'язковою.

Вісімдесят три відсотки погодились з тим, що можливість виявлення та захисту вірусів та можливість очищення файлу під час видалення є найважливішими характеристиками. Додатковим зауваженням було те, що від продавців потрібно вимагати сертифікацію продукту на відсутність вірусів або люків. Сімдесят три відсотки вважали можливість шифрування конфіденційних даних обов'язковою, але один респондент висловився проти цієї функції, оскільки це може ускладнити відновлення після аварії (тобто, можливо, не вдасться отримати доступ до таких даних в надзвичайних ситуаціях під час обробки на іншому сайті). Дев'яносто п'ять відсотків вважали важливим вимагати виконання виробничих програм із захищеної виробничої бібліотеки, а також, якщо використовується шифрування, знищити відкритий текст під час процесу шифрування.

Управління терміналом

Усі опитані погодились, що запобігання показу паролів на екранах або звітах має бути важливим. Дев'яносто п'ять відсотків висловилися за автоматичну можливість виходу / виходу з режиму очікування як обов'язкову функцію. Коментар полягав у тому, що цю функцію слід змінювати за ідентифікатором.

Ідентифікація терміналів була здатністю, яку 87 відсотків вважали важливою, але лише дві третини вважали, що клемний замок повинен бути включений до основної категорії. Додатковим зауваженням було те, що маркерний порт (для динамічного інтерфейсу пароля) повинен бути особливістю терміналів.

Спочатку було використано метод експертних оцінок, за яким чотири експерта на основі асоціацій та неординарних рішень обрали найважливіші критерії. Далі, для більш комплексного аналізу поставленої проблеми, було використано метод інверсії, завдяки чому відбулася різка зміна напряму пошуку рішень та виявлення абсолютно нових рішень. Сформульовані критерії вибору представлені в табл.1.

Таблиця 1

Критерії вибору рішень

№	Критерії	Опис критеріїв
1	Контроль доступу до файлів	Заборона або дозвіл доступу до файлів на основі ідентифікатора
2	Управління терміналом	Запобігання показу паролів на екранах, а також автоматичне блокування екранів при бездіяльності
3	Ідентифікація користувача	Розпізнавання користувача в системі, за допомогою ідентифікатора
4	Автентифікація користувача	Встановлення належності користувачеві інформації пред'явленого ним ідентифікатора

Відносну важливість переваг було визначено експертами за шкалою Сааті. Для заповнення матриці переваг було попарно порівняно кожен показник з іншими і, за шкалою Сааті, визначено перевагу для кожної пари (табл. 2)

Таблиця 2

Загальна матриця переваг

Критерії		1	2	3	4
Контроль доступу до файлів	1	1	0,5	2	3
Управління терміналом	2	2	1	2	3
Ідентифікація користувача	3	0,5	0,5	1	3
Автентифікація користувача	4	0,333	0,333	0,333	1
	Сума	2,2	4,8	6,3	9,0

Розрахуємо вектори локальних переваг (табл. 3-4)

Таблиця 3

Матриця нижчого рівня

Критерії		1	2	3	4
Контроль доступу до файлів	1	1	3	2	4
Управління терміналом	2	0,3	1	1	2
Ідентифікація користувача	3	0,5	1	1	2
Автентифікація користувача	4	0,25	0,5	0,5	1
	Сума	2,05	5,5	4,5	9

Таблиця 4

Матриця векторів локальних переваг

i/j	Головний власний вектор V_i	Вектор пріоритетів P_i	Сума по колонках S_j	Власне значення $\lambda_{\max} P_i S_j$
1	1,817121	0,45428	6	2,725681
2	0,669433	0,167358	2,3	0,384924
3	0,793701	0,198425	2,5	0,496063
4	0,39685	0,099213	1,25	0,124016
Сума	3,280254	0,820064	10,8	3,606668

$$I_y = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{8,49 - 4}{4 - 1} = 1,49,$$

$$B_y = \frac{I_y}{B_1} = \frac{0,149}{0,9} = 0,095.$$

λ_{\max} – найбільше власне значення матриці парних порівнянь;

n – розмірність матриці;

B_1 – випадковий індекс.

Відношення узгодженості матриці відповідає умові, при якій матрицю вважаємо достатньо узгодженою, а саме воно не перевищує величини 0,1.

Проаналізувавши основні критерії за котрими проводилось дослідження, було виявлено, що основними критеріями котрі можуть захистити персональний комп'ютер користувача від методів соціальної інженерії є:

- автентифікація
- ідентифікація
- управління терміналом.

Просте, слід враховувати що важливою частиною цих критеріїв є:

- Складні паролі.
- Унікальні ідентифікатори.
- Автоматичне блокування облікового запису при неправильних спробах входу у

ПК

- Використання двухфакторної автентифікація.
- Перехід в сплячий режим при бездіяльності ПК.

Контроль доступу до файлів був так низько оцінений експертами, через те, що якщо злодій вже має доступ до файлів, то зазвичай він має доступ и до самої системи.

Висновки

У ході проведення даного дослідження було розглянуто методи захисту корпоративної мережі. Зібрано та проаналізовано інформацію з приводу політик безпеки. Проаналізовано поняття інформаційної безпеки та основні принципи запобігання порушень безпеки. Проаналізовано поняття політики безпеки та проведено опитування з приводу найважливіших місць захисту.

Список літератури

1. Lytvynov V., Stoianov N., Skiter I., Trunova H., Hrebennyk A. Corporate Networks Protection Against Attacks Using Content-Analysis of Global Information Space. *Technical Sciences and Technologies*. 2018. № 1 (11). P.115-130. URL: DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(11)-115-130
2. Computer Science and Telecommunications Board System Security Study Committee. National Research Council (U.S.). National Academies Press.1990. 320 p.
3. Rosenberry T. Protecting Your Corporate Network from Your Employee's Home Systems. GIAC Security Essentials Certification. SANS Institute. 2020.
4. Sathyadevan S., Rangan V., Achuthan K. Security Layer and Methods for Protecting Tenant Data in a Cloud-Mediated Computing Network. *Patent Application Publication*. 2014. 17 p.
5. Shamuhamedov G., Hydyrov N. Security and protection of information in networks. *Technical Sciences*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/security-and-protection-of-information-in-networks/pdf>

PROTECTION OF CORPORATE NETWORKS FROM HUMAN INFLUENCE USING TECHNICAL MEANS

Y. Tkach¹, O. Yakovlev², T. Lisitsa²

¹National Chernihiv Polytechnic University

Shevchenko 95, Chernihiv, Ukraine, E-mail: tkachym79@gmail.com

²JSC "Alfa-Bank". Ave. Victory, 62. Chernihiv, Ukraine, Email: samehada@i.ua

The widespread use of computer technology in automated data processing and management systems has exacerbated the problem of protecting information circulating in computer systems from unauthorized access. Information protection in computer systems has a number of specific features due to the fact that information that is not strictly related to the media can be easily and quickly copied and transmitted over communication channels. In computer networks, targeted information belongs to certain people who are on their own initiative or in accordance with official responsibilities, and only they have the right to use this information. Such information should be protected from all forms of external interference, especially from the reading and copying of this information, by people who do not have the right to access this information. The aim of the work is to study the methods of corporate network protection, collection and analysis of information on security policies. Therefore, a survey was conducted among experts to identify the most important points in technical protection that can be used against the methods of social engineering. To do this, the results of the survey were analyzed and the main criteria were selected. Next, using the matrix of preferences and mathematical analysis, it was identified which of the selected criteria are the most important, and identified factors that can both positively and negatively affect the selected basic criteria. This is necessary in order to understand exactly how you can protect yourself from the methods of social engineering.

Keywords: information security; human factor; security policy; authentication; identification; access control.

**ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА РІШЕННЯ
ІНФОРМАТИЗАЦІЇ ПЕРЕХОДУ КОМПАНІЙ В ОНЛАЙН СФЕРУ****Т.В. Філатова, О.А. Журан, І.Ю. Івченко**

Національний університет «Одеська політехніка»,
пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна;
e-mail: filatova.321@gmail.com, juran@ukr.net, ivchenkoira@gmail.com

Всесвітня пандемія поширення захворювання Covid-19 внесла у життя людей, організацій різного профілю, компаній серйозні корективи. Компаніям потрібно налаштуватися на новий – дистанційний стиль праці. Але потрібно розуміти, що перехід на новий стиль роботи передбачає такий перехід, який би не спричинив підприємствам додаткові неприємності та проблеми. Тому у статті розглядається технологія переходу компаній в онлайн сферу, використовуючи проектування інформаційних систем. Інформатизація та онлайн перехід в сфері торгівлі здійснюється з метою залучення клієнтів, спрощення роботи менеджерів та підвищення прибутку. Актуальність даної роботи полягає в тому, що з сучасною ситуацією в країні необхідна принципово нова система організації праці. Є потреба в заміні застарілої, мало ефективної системи, яка значно затримує роботу організацій у сучасному світі праці в період карантину. Тому необхідно вибудувати універсальну технологію переходу компаній в онлайн сферу, представити проект цього переходу. У статті запропоновані технології при проектуванні систем для використання більш зручного переходу. Пропонується використовувати моделі UML, наприклад безпосередньо діаграму Use Case, класів для опису взаємодії між проектованою системою і користувачами. Дана технологія дозволяє визначити варіант з наглядним інтерфейсом взаємодії користувачів у системі. Представлене рішення пропонується для застосування в компанії он-лайн системи, яку можливо використовувати як працівнику компанії, так і замовнику послуг/товарів. Після виконання проектування інформаційної системи науковцями пропонується визначити більш конкретні технології використання, наприклад створення чи оновлення сайту компанії з використанням зворотнього зв'язку та можливості замовлення, використання системи управління базами даних.

Ключові слова: онлайн, проектування, інформаційні системи, інформаційні технології, дистанційний вид, електронна комерція, електронна торгівля, e-commerce, пандемія, Covid-19, маркетинг, on-line.

Вступ

У силу сформованої епідеміологічної ситуації у світі все більше і більше компаній змушені переходити на дистанційний вид роботи. Е-бізнес, он-лайн торгівля, електронна комерція стають мало не першорядною складовою ефективного бізнесу.

Через всесвітню пандемію індустрія торгівлі повинна була перейти на новий вид зв'язку роботи з клієнтами «on-line» або призупинити діяльність, саме тому це був час для роботи з сайтами, маркетингом та впровадженням ІТ-технологій для полегшення внутрішньої роботи компанії.

Актуальність даної роботи полягає в тому, що з карантинною ситуацією у світі та безпосередньо в країні необхідна принципово нова система організації праці. Є потреба в заміні застарілої, мало ефективної системи, що значно затримує роботу організацій. Тому необхідно вибудувати універсальну технологію переходу компаній в онлайн сферу, представити проект цього переходу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В багатьох працях вітчизняних вчених можна знайти розглядання проблеми застосування інформаційних систем пов'язаної з епідеміологічною ситуацією вирішення досліджуваної проблематики. Перспективи електронної комерції в Україні мають велике поширення. Молчанова В.С. у своїх роботах [1] дає можливість побачити перспективи сфери електронної комерції у цілому, Хаванова Н.В. та Бокарева О.В. зробили аналіз світового та російського ринку електронної торгівлі, тенденції та проблеми розвитку [2], Магомедов А.М. представляє проблеми розвитку дистанційної торгівлі під час пандемії [3], але не має у розглянутих роботах вирішення проблем впровадження інформаційних систем у ситуації з необхідністю витримування карантину та утримання бізнесу, що допоможе не допустити руйнування компанії. Країна має значний потенціал та сприятливі умови розвитку електронної комерції та дистанційної роботи в організаціях. На он-лайн конференціях присвячених даній проблемі в Україні, Олег Цільвік, Крістіна Лініченко представили статистичні дані та зробили огляд такого сегменту, як e-commerce [4], але в жодних працях не відображена саме технологія переходу компанії в онлайн сферу роботи [5]. Тому визначимося на елементах, які дозволять компанії легко і без підводних каменів здійснити проект переходу компанії в онлайн сферу, як додатковий горизонт роботи.

Мета дослідження

За останні два роки проблеми пов'язані з використанням дистанційних, он-лайн технологій поширюються усе більш, але саме методології переходу та послідовності етапів проектування компанії на онлайн вектор в наукових дослідженнях не знайдено. Тому метою даної статті є аналіз онлайн сфери роботи компаній та створення технології переходу з урахуванням проектування інформаційної системи, вибір використання необхідного програмного забезпечення для роботи з клієнтами, тобто можливо сайту, бази даних для комфортного зв'язку з клієнтами, а також для збереження інформації про замовлення та постійних клієнтів чи інші інформаційні технології. Метою дослідження являється саме вибір такої методології, яка б була універсальною та мала нескладні технології переходу.

Основна частина

Тільки за перший суворий карантин у 2020 році закрилось близько 40% бізнес-структур та 3,5 млн. людей втратило роботу. [13]. Проаналізувавши роботу компаній, які були змушені починати роботу дистанційно в період глобального карантину, наглядно бачимо, що кількість таких організацій значно поширилася. Але ряд компаній ще не змогли перейти у сферу онлайн та знайти гнучкий для себе спосіб такого переходу. Саме застарілий тип роботи, страх змін зупиняє управлінців змінювати процес роботи. Співробітники компаній не готові та не здатні робити крок назустріч сучасному формату праці. Робота в он-лайн режимі потребує нових методів управління організацією, засобів комунікацій та мотивування й об'єднання персоналу, а саме:

- опанування персоналом нових технологій та методів роботи;
- технічне оснащення та інформаційна обізнаність працівників;
- впровадження керівниками сучасних методів оцінки персоналу в умовах віддаленої праці.

Крім того перехід на бізнесу в онлайн сферу потребує зміну бізнес-процесів організації та її документообігу. Більшість документів з паперової форми змінюється на електронну.

Як вже відзначалося при такому переході змінюються критерії підбору персоналу та вимоги до їх компетенції – підвищується значення softskills навичок та

володіння інформаційними технологіями. Питання компетенцій сучасних фахівців та підбору якісних виконавців докладно розглядалися авторами у попередніх працях [14, 15].

Для досягнення мети роботи треба визначити загальну технологію переходу компаній у сферу онлайн.

Саме тому потрібно визначити етапи та технологію проєктування інформаційних систем в онлайн сферу при зміні стилю роботи компаній. Дана процедура повинна включати декілька головних кроків. Сформуємо ці кроки та завдання до проєктування:

Крок 1. Розробити ідею майбутньої on-line інформаційної системи. Головним на цьому кроці є формулювання цілей, виконуваних у подальшому задач та аналіз вимог до інформаційної системи [7].

Розробник з замовником визначають основний функціонал майбутньої системи.

Крок 2. Розробити модель інформаційної системи.

З урахуванням аналізу вимог попереднього кроку формується універсальна модель системи, до якої передбачений різний інтерфейс та функціональність. На даному кроці обирається звичайний функціонал, але і можливе формулювання додавання розширеного набору функцій.

Крок 3. Розробити візуалізацію системи.

Даний етап передбачає проєктування та розроблення інтерфейсу інформаційної системи. На цьому кроці обирається саме яка версія може бути необхідна в роботі: максимальна чи мобільна.

Крок 4. Реалізація, тестування та впровадження в роботу.

Етап реалізації та тестування, як завершальна стадія, розглядає вибір мови реалізації, при необхідності доповнення інформаційної системи додатковими функціями вже існуючих (які були сформовані на кроці 2).

Після розгляду загальних етапів переходу, які вказано вище, такі як розробка ідеї та моделі інформаційної системи та саме реалізація, визначимо більш конкретні пропозиції щодо технологій проєктування.

Першочергово потрібно визначити структуру, яка повинна бути виконана при створенні системи і перехід в онлайн сферу. Певний набір інструментарію та методологій зможе спростити реалізацію проєкту.

Для цього найкраще використовувати стандартні методології:

1. Бізнес-модель Lean Model Canvas – бізнес-план проєкту від мети до фінансів на одній сторінці.

2. Інструмент CustDev - тестування ідеї або прототипу майбутнього продукту на затребуваність за допомогою отримання зворотного зв'язку від користувачів, потенційних споживачів.

3. Діаграма Ганта з планом реалізації проєкту для відображення моделі інформаційної системи.

4. Використання моделі UML, безпосередньо діаграму Use Cases, класів для опису взаємодії між проєктованою системою і користувачами.

Lean Model Canvas, CustDev та Діаграма Ганта це технології, які дуже часто зустрічаються в дослідженнях, особливо при розробці стартапів. Вони детально описані різними авторами, ніж останній пункт – використання діаграми Use Cases, який можливо використовувати при рішенні поставленої мети.

Тому зупинимось на використанні саме технології, яка застосовує засоби UML моделей. По-перше, це надає змогу розглянути різні варіанти використання інформаційної системи та вимоги до неї. По-друге, за допомогою UML моделей краще створити візуалізацію взаємодії між користувачами системи.

Більша частина комунікації між менеджером та клієнтом, менеджером та підлеглими проходить через онлайн ресурси, месенджери, внутрішні програми, тощо.

Тому ефективність роботи залежить саме від ефективності роботи інформаційної системи.

Інформатизація та онлайн перехід в сфері торгівлі здійснюється з метою залучення клієнтів, спрощення роботи менеджерів та підвищення прибутку.

Використовуючи моделі UML, наприклад безпосередньо діаграму Use Case, діаграму класів для опису взаємодії між проектованою системою і користувачами можливо отримати наглядний інтерфейс взаємодії користувачів системи. Саме цей вигляд зробить доступніше сприйняття змін, на які потрібно наважитися управлінцям та співробітникам.

Мета діаграми варіантів використання - формування вимог до системи, причому саме в такому вигляді, щоб можна було легко зрозуміти замовлення. Зупинимось на візуалізації взаємодії між співробітниками класичної організації, де працюють менеджери різного рівня. Розроблена діаграма представляє рішення компанії для застосування в компанії он-лайн системи, яку можливо використовувати, як працівнику компанії, так і замовнику послуг у компанії.

Проблемною ланкою є зв'язок між проєкт-менеджером та торговим менеджером. Контроль наявності та оформлення є важливим елементом, так як він є обмеженим. Саме тому доцільним буде на основі цих даних розробити після проектування базу даних, де легко можна буде це контролювати. Менеджер може сам перевіряти наявність позицій через запит, не чекаючи зворотного зв'язку з торговим менеджером. Завдання другого буде тільки зробити кошторис та вислати менеджеру.

Розглянемо більш детально цей етап проектування на прикладі будь-якої торгової компанії чи компанії, яка представляє будь-які послуги, де є покупець та менеджер з обробки замовлень (див.рис.1).

На рисунку 1 бачимо загальну діаграму для двох учасників: покупця (замовника послуг, Customer) та менеджера (Main Manager). Найголовнішим є взаємодія між клієнтом та менеджером і правильно розроблені задачі.

Мета діаграми варіантів використання - формування вимог до системи, причому саме в такому вигляді, щоб їх можна було легко зрозуміти замовлення. Розроблена діаграма представляє універсальне рішення для торгової компанії переходу та застосування он-лайн системи, яку можливо використовувати, як працівнику компанії, так і замовнику послуг у компанії. Саме цей загальний вигляд може бути застосований при дослідженні інформаційних систем, яку використовують клієнти у дистанційному форматі.

Зв'язок між покупцем (Customer) та менеджером (Main Manager) (див.рис.1) необхідний для того, щоб налагодити безперебійну роботу із клієнтами: Оплата (Paying), Надання рахунку (Sending total bill), Запит стосовно номенклатури (Make a request), Взаємодія (Meeting) та інші операції.

Слід розуміти, що це універсальна модель, і функцій у системі набагато більше. Покупець може взаємодіяти з усіма співробітниками компанії. Але, як правило, це менеджер, який взаємодіє з людськими ресурсами.

Тому представлена діаграма на рисунку 1 може бути розширена за рахунок додавання інших різних функцій.

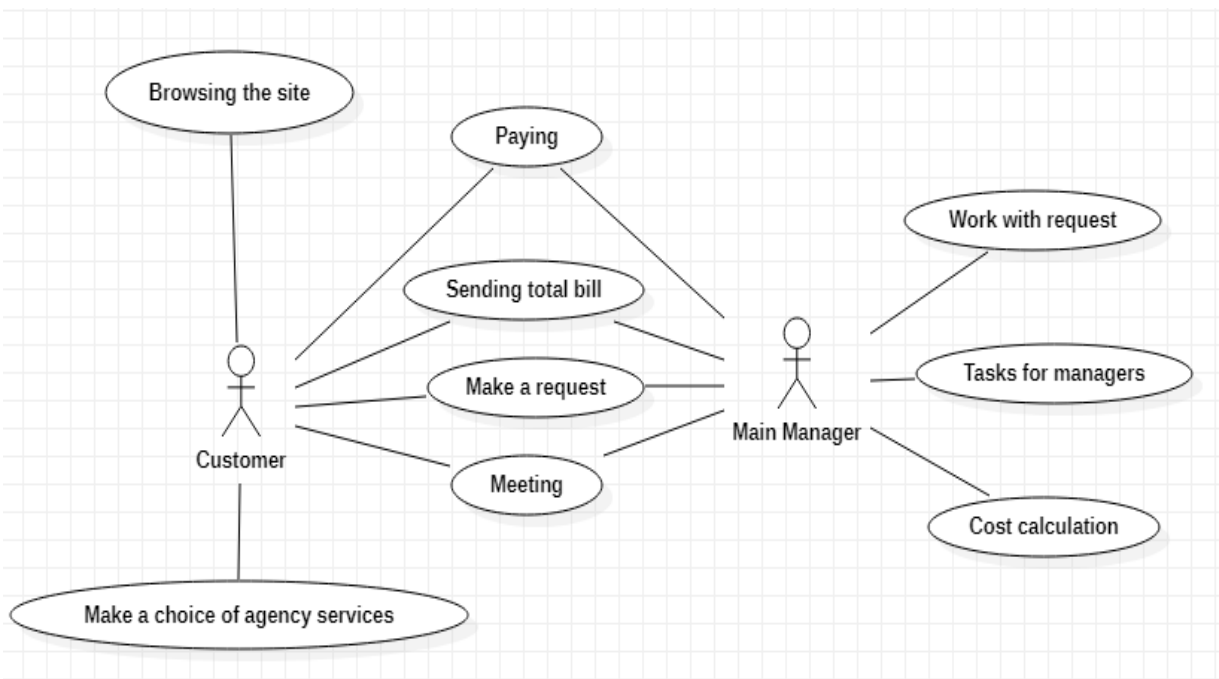


Рис. 1. Проектування взаємодії покупця та менеджера з використанням он-лайн інформаційної системи

У компанії працюють менеджери різних рівнів. Тому також є взаємодія між менеджерами, які виконують роботу всередині організації та взаємодіють один з одним (див.рис.2).

Проект-менеджер є посередником між усіма співробітниками, у його обов'язки входить, крім основних завдань: обробка запиту, зв'язок з клієнтом, розробка задач, контроль їх виконання та здача проекту.

Зв'язок між менеджерами (Project Manager и Rent Manager) необхідний для оптимізації роботи всередині організації, щоб процес був скоординований та налагоджений: Робота з запитом (work with request), Завдання для менеджерів (Tasks for managers), Розрахунок вартості (Cost calculations) та ін. (див.рис.2). На рисунку 2 графічно зображено роботу інформаційної системи з точки зору бізнес-процесів компанії.

Даний приклад демонструє яким чином потрібно проектувати інформаційну систему будь-якої торгової компанії, в якій є взаємодія між покупцями/замовниками послуг та менеджерами у дистанційному вигляді.

Якщо проаналізувати взаємодію менеджерів, то в майбутній розробленій он-лайн інформаційній системі цей зв'язок представлений на рисунку 2. Дана діаграма відображає таку взаємодію між проект-менеджером (Project Manager) та торговим менеджером (Rent Manager), яка буде реалізована у системі: Запит (Request), List with availability (список з наявністю), Надання рахунку (Total bill)

З розгляду та аналізу цих діаграм можна визначити загальні функції робітників та сформувану універсальну методологію переходу компанію на дистанційну форму роботи з реалізацією задач у інформаційній системі.

Завдання встановлення відповідності функцій системи зводиться до задачі зіставлення онтологій.

Онтологія – це наука, яка представляє усі сутності предметної області. Онтологія визначається як безліч всіх понять даної предметної області M і безліч відносин типу «визначення» (D), що задають розбиття множини M на класи $S = \{M, D\}$ [8]. Якщо детально описати формалізацію дій, то доцільним буде застосування онтологічної моделі для вирішення поставлених завдань.

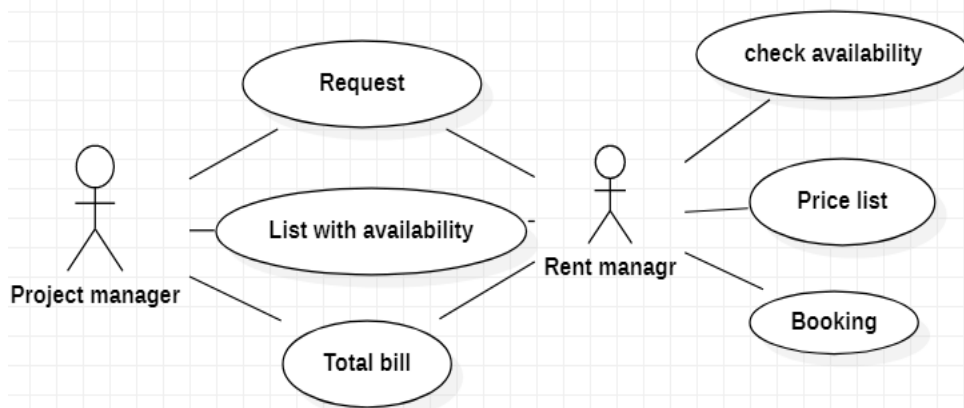


Рис. 2. Проектування взаємодії менеджерів в майбутній розробленій он-лайн інформаційній системі

В першу чергу необхідно створити узагальнений і не дуже формальний опис моделі, об'єднуючи частини уявлення про зміст. Крім цього, можна використовувати семантичну модель (СМ) даних - опис, виконаний з використанням природної мови, таблиць, графіків і тому подібних засобів. У свою чергу, використання динамічних онтологій, що є функціями від часу, дозволить забезпечити адекватність онтологічної моделі і зробить їх практично застосовними на широкому спектрі завдань. Основними конструктивними елементами СМ є сутності, їх властивості (атрибути) і зв'язки між сутностями. Якщо розглядати саме предметну область торгових організацій, як і інших подібних, то вона складається з об'єктів (менеджер, покупець та інші контрагенти), які мають ряд атрибутів, званих вектором атрибутів та зв'язків між ними. Створюючи модель, використовуємо СМ, яку опишемо векторами онтології. Для інтерпретації ідентифікатора понять виступає координата $X = x_i$, де $i = 1 \dots n$ - для опису атрибутів об'єктів (торговий менеджер, проект-менеджер) і, $R = R_{ij}$, де $j = 1 \dots m$ для опису зв'язків між ними (функції та завдання)[8].

Використовуючи атрибути об'єктів та описуючи їх зв'язки, представимо математичну модель досліджуваної системи загального вигляду інформаційних систем N при вирішенні інформатизації переходу компаній в онлайн сферу з точки зору універсального уявлення: $N(X, R)$. Якщо в подальшому максимізувати якість цих атрибутів, з урахуванням всіх обмежень, можна отримати лише ті елементи, котрі будуть ключовими.

Кожна компанія зацікавлена у переході в будь-якій складній ситуації з найменшими витратами часу та коштовності проекту. Саме універсальна модель вказує головні етапи можливих змін компанії.

Для оптимізації роботи у часи карантину найкращим варіантом є створення єдиної інформаційної системи он-лайн N. Після виконання проектування інформаційної системи науковцями пропонується визначити більш конкретні технології використання, наприклад, створення чи оновлення сайту компанії з використанням зворотнього зв'язку та можливостей замовлень, створення та використання системи управління базами даних.

В умовах сьогодення, коли країну й світ в цілому накривають хвилі карантину різної жорстокості, будь-який бізнес знаходиться в зоні постійного ризику. Тому незважаючи на тимчасові покращення ситуації, кожна компанія буде свої альтернативні шляхи праці з клієнтами. Безумовно, що в сучасному цифровому світі це онлайн системи, які дають змогу:

- підтримувати бізнес при будь-яких умовах карантину;
- буди постійно з клієнтами на зв'язку 24/7;
- відповідати сучасним вимогам он-лайн платежів.

Висновки

Роботи в області проектування та застосування онлайн інформаційних систем являються актуальною на даний час тематикою наукових досліджень. Для будь-якої компанії чи організації плавний перехід з одного стилю роботи на інший забезпечить стабільну роботу компанії без зривів і збоїв під час виконання звичайних рутинних операцій.

Представлені у дослідженнях технології переходу є універсальним засобом та зможуть полегшити перехід компанії будь-якої сфери господарювання.

Запропоновані в статті технології переходу можуть бути розширені та представлені за рахунок інших діаграм UML та моделей. Але в будь-якому разі вони полегшують та дають можливість подальших перспектив розвитку компанії.

При переході в бізнесу в площину он-лайн обов'язково слід приділити увагу формуванню команди та методами управління нею. Саме тому дослідження в даній предметній області плануються й в подальшому та будуть розглянуті у наступних роботах авторів. Більш уваги необхідно приділити саме особливостям управління ІТ персоналом.

Список літератури

1. Молчанова В.С. Перспективы сферы электронной коммерции в мире. *Sochi Journal of Economy*. 2014. №1(29). С. 88-95.
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21456669>
2. Хаванова Н.В., Бокарева Е.В. Анализ мирового и российского рынка электронной торговли: тенденции и проблемы развития. *Сервис в России и за рубежом*. 2017. Т.11, №3 (73). С.136-146.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-mirovogo-i-rossiyskogo-rynka-elektronnoy-torgovli-tendentsii-i-problemy-razvitiya>
3. Magomedov A.M. Problems of remote trade development in the COVID-19 pandemic. *Dagestan State University Proceedings*. 2020. V.3, № 8 (104). P. 59-68
4. Онлайн-торгівля 2020 – можливості та ризики стрімкого зростання.
URL: <https://www.dsnews.ua/ukr/economics/onlayn-torgovlya-vozmozhnosti-i-riski-stremitelnogo-rosta-31072020-394057>.
5. Горбань Ю. Дистанційне обслуговування та нові онлайн-послуги бібліотек закладів вищої освіти під час пандемії COVID-19. *Збірник наукових праць ЛОГОС*. URL: <https://doi.org/10.36074/logos-26.02.2021.v3.53>.
6. Якутіна О.Д., Філатова Т.В. Модернізація інформаційної системи на підприємстві. *Матеріали науково-практичної інтернет-конференції «Економічна кібернетика: теорія, практика та напрямки розвитку»*, Одеса, 2020. С. 99-102.
URL: https://economics.net.ua/files/science/ek_kiber/2020/tezy.pdf
7. Дегтярьова К.С., Філатова Т.В. Ребрендинг event індустрії під час карантину. *Матеріали науково-практичної інтернет-конференції «Економічна кібернетика: теорія, практика та напрямки розвитку»*. Одеса, 2020. С. 49-52.
URL: https://economics.net.ua/files/science/ek_kiber/2020/tezy.pdf
8. Філатова Т.В. Модели формализованного сопоставления степени соответствия образовательно-квалификационных уровней для вузов различного уровня аккредитации. *Матеріали міжнародної українсько-*

- японської конференції з питань науково-промислового співробітництва. Одеса, 2013. С.27-29.
URL: https://economics.net.ua/files/science/japan/2013/tom_2/27.pdf
9. Хорошко О.О., Філатова Т.В. Моделювання інформаційних систем управління. *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій» за тематикою: Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві*, Херсон, 2020. С.321-324.
URL: <http://surl.li/yveq>
 10. Zhuran O.A., Glava M.G. IT-cluster-modern component of regional economy development. *Економика: реалії часу*. 2017. №1 (29). С. 64-72.
URL: <https://economics.net.ua/files/archive/2017/No1/64.pdf>
 11. Журан О.А. Формування конкурентоспроможності підприємства в сучасних економічних умовах. *Причорноморські економічні студії*. 2018. № 35. С. 62-65. URL: http://bses.in.ua/journals/2018/35_1_2018/13.pdf
 12. Журан О.А. Використання сучасних інформаційних технологій для оцінки конкурентоспроможності підприємств. *Матеріали конференцій «Економічна кібернетика: теорія, практика та напрямки розвитку»*. Одеса, 2019. С.41-45. URL: <https://economics.net.ua/ekonomichna-kibernetika>
 13. Гудкова А.В., Журан О.А. Розвиток електронної торгівлі в Україні в часи пандемії. *Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Молодь у світі сучасних технологій», МССТ-2020 за тематикою: Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві*. Херсон, 2020. С. С.55-57.
URL: <http://surl.li/yveq>
 14. Журан О.А., Філатова Т.В., Чернишов О.О. Модель формування сучасних компетенцій ІТ-фахівців. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2019. Т.9, №3. С.195-202.
 15. Журан О.А., Донченко К.В. Методи та засоби інтелектуальної обробки інформації. *Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформатика. Культура. Технології» ІКТ2021*. Одеса, 2021. С.14-16

**DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS AND DESIGN SOLUTIONS FOR
INFORMATIZATION OF THE TRANSITION OF
COMPANIES IN THE ONLINE SPHERE**

T.V. Filatova, O.A. Zhuran, I.I. Ivchenko

National Odessa Polytechnic University, av. Shevchenko, 1, Odessa, 65044, Ukraine;
e-mail: filatova.321@gmail.com, juran@ukr.net, ivchenkoira@gmail.com

The global pandemic of the spread of the Covid-19 disease has made serious adjustments to the lives of people, organizations of various profiles, companies. Companies need to tune in to a new, telecommuting style of work. But it needs to understand that the transition to a new style of work provides for such a transition that does not provide enterprises with additional troubles and problems. Therefore, the article discusses the technology of designing information systems for the transition of companies to the online sphere of activity. Informatization and online transition in the field of trade are carried out in order to attract customers, simplify the work of managers and increase profits. The relevance of this work lies in the fact that with the current situation in the country, a fundamentally new system of labor organization is needed. There is a need to replace an outdated, ineffective system, which significantly slows down the work of organizations. Therefore, it is necessary to build a universal technology for the transition of companies to the online sphere, to present a draft of this transition. The article proposes technologies in the design to use a more convenient transition. It is proposed to use UML models, for example, directly the Use Case diagram and classes for describing the interaction between the designed system and users, which allows us to present a visual interface for the interaction of system users. The developed diagram represents the company's solution for using an online system in the company, which can be used by both an employee of the company and a customer of services in the company. After completing the design of the information system, scientists are asked to determine more specific technologies of use, for example, the creation or updating of the company's website on the use of feedback and ordering opportunities, the use of a database management system.

Keywords: online, design, information systems, information technology, remote view, e-commerce, e-commerce, e-commerce, pandemic, Covid-19, marketing.

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ
КІБЕРЗАХИЩЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД
КІЛЬКОСТІ КОРИСТУВАЧІВ****В.О. Хорошко¹, В.А. Кудінов²**¹Національний авіаційний університет,
пр. Любомира Гузера, 1, Київ, 03058, Україна; e-mail: professor_va@ukr.net²Національна академія внутрішніх справ,
пл. Солом'янська, 1, Київ-ДСП, 03035, Україна; e-mail: kudinov_va@ukr.net

Сьогодні становлення інформаційного суспільства відбувається в умовах існування кіберзлочинів, тобто злочинів, пов'язаних з протиправним використанням кібернетичних комп'ютерних систем. Кримінальним правопорушенням у сфері використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) (комп'ютерів), систем та комп'ютерних мереж і мереж електрозв'язку присвячений розділ XVI з шести статей Кримінального кодексу України. Зокрема, стаття 3631 містить склад злочину щодо перешкоджання роботі ЕОМ (комп'ютерів), автоматизованих систем, комп'ютерних мереж чи мереж електрозв'язку шляхом масового розповсюдження повідомлень електрозв'язку. Серед шляхів протидії кримінальному правопорушенню, передбаченого статтею 3631, є створення кіберзахисних інформаційних систем. Станом на теперішній час невирішеними залишаються питання щодо проведення відповідного математичного моделювання особливостей функціонування кіберзахисних інформаційних систем в залежності від кількості користувачів в розумінні статті 3631. Тому метою даної роботи було проведення зазначеного дослідження. Важливими результатами цієї роботи є отримання при заданих початкових умовах відповідних математичних виразів, що дозволяють в цілому описати поведінку інформаційної системи в залежності від кількості користувачів (запитів). Отримані результати математичного моделювання для певних параметрів системи узгоджуються з якісними уявленнями про поведінку системи та її насичення при збільшенні кількості користувачів. Практичне значення підсумків роботи полягає в тому, що її результати можуть бути використані при виборі параметрів кіберзахисних інформаційних систем, що проектуються.

Ключові слова: математичне моделювання, інформаційні системи, поведінка системи, кіберзахист, користувачі системи.

Вступ

Ми живемо в епоху інформаційного суспільства, коли комп'ютерні та телекомунікаційні технології охопили майже всі сфери життєдіяльності суспільства і держави. Але разом з тим становлення інформаційного суспільства відбувається не без проблем, найважливішою з яких сьогодні слід вважати кіберзлочинність, тобто сукупність кіберзлочинів [1]. Під кіберзлочинами розуміють злочини, пов'язані з протиправним використанням кібернетичних комп'ютерних систем [2, с. 111].

Законодавче визначення поняття кіберзлочину (комп'ютерного злочину) – «це суспільно небезпечне винне діяння у кіберпросторі та/або з його використанням, відповідальність за яке передбачена законом України про кримінальну відповідальність та/або яке визнано злочином міжнародними договорами України» [1]. Кримінальним правопорушенням у сфері використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) (комп'ютерів), систем та комп'ютерних мереж і мереж електрозв'язку присвячений розділ XVI з шести статей Кримінального кодексу України [3]. Зокрема, стаття 363¹ містить склад злочину щодо перешкоджання роботі ЕОМ (комп'ютерів),

автоматизованих систем, комп'ютерних мереж чи мереж електрозв'язку шляхом масового розповсюдження повідомлень електрозв'язку [4, с. 85].

Серед шляхів протидії кримінальному правопорушенню, передбаченого статтею 363¹, є підготовка відповідних кадрів правоохоронців щодо протидії кіберзлочинності [5] та створення кіберзахисних інформаційних систем [6, с. 151]. При цьому, під кіберзахистом розуміють сукупність організаційних, правових, інженерно-технічних заходів, а також заходів криптографічного та технічного захисту інформації, спрямованих на запобігання кіберінцидентам, виявлення та захист від кібератак, ліквідацію їх наслідків, відновлення сталості і надійності функціонування комунікаційних, технологічних систем [1].

Станом на теперішній час невирішеними залишаються питання щодо проведення математичного моделювання особливостей функціонування кіберзахисних інформаційних систем в залежності від кількості користувачів [7, с. 100, 101] в розумінні статті 363¹ Кримінального кодексу України.

Мета роботи

Метою даного дослідження є вивчення особливостей поведінки інформаційної системи в залежності від кількості користувачів шляхом проведення відповідного математичного моделювання, результати якого можуть бути використані при виборі параметрів кіберзахисних інформаційних систем, що проектується.

Основна частина

Для проведення зазначеного математичного моделювання, перш за все, необхідно визначитись з основним понятійним апаратом щодо систем обробки інформації.

У роботі [8] проведено дослідження питань щодо правового регулювання таких основних понять, як «комп'ютерна система», «інформаційна система», «інформаційно-телекомунікаційна система», «автоматизована система» та взаємозв'язкам між ними. Особливостям визначення поняття «інформаційна система» присвячена стаття [9]. Станом на теперішній час розділ «Термінологія законодавства» веб-порталу Верховної Ради України містить посилання на 20 нормативних документів з визначенням терміну «інформаційна система». Найбільш розповсюджене визначення таке: «інформаційна система – це автоматизована система, комп'ютерна мережа, система зв'язку» [10].

Необхідно відмітити, що сучасний етап розвитку інформаційних систем характеризується тенденцією до створення паралельних багатопроекторних обчислювальних систем, тобто подальше збільшення їх швидкодії здійснюється за рахунок паралельної обробки завдань. Тому при моделюванні складних багатопроекторних систем для вирішення простих задач природно скористаємося моделлю багатоканальної системи масового обслуговування (СМО). При цьому процесори системи ототожнюються з каналами обслуговування, а задачі – із заявками.

Досвід експлуатації однорідних складних систем (ОСС), до складу яких входять багатопроекторні обчислювальні системи [11], показав, що великі можливості цих систем можуть бути в повній мірі розкриті лише при застосуванні ефективних методів і засобів організації їх роботи. Задачі оптимізації цих систем по деякому вибраному критерію якості відносяться до екстремальних комбінаторних задач [12]. Їх постановка визначається метою функціонування ОСС, відповідно до якої вибирається критерій якості.

Для оцінки функціонування системи шляхом створення відповідної математичної моделі необхідно сформулювати її характерні особливості [13]:

- 1) велика кількість її складових частин – інформаційних підсистем;

- 2) багатомірність системи, що обумовлена наявністю великої кількості зв'язків між підсистемами;
- 3) складність виконуваних системою функцій, що спрямовані на досягнення мети її функціонування;
- 4) взаємодія із зовнішнім середовищем та функціонування в умовах впливу випадкових факторів;
- 5) наявність великої кількості критеріїв оцінки якості функціонування складної системи та її підсистем;
- 6) велика розмірність і складність моделі системи обумовлює необхідність застосування для її дослідження сучасних математичних методів декомпозиції, макро моделювання, імітаційного моделювання [13-15];
- 7) відсутність можливості отримання достовірної інформації про властивості системи в цілому в результаті вивчення властивостей її окремих підсистем.

Таким чином, складна система являє собою велику кількість взаємопов'язаних і взаємодіючих між собою підсистем різної фізичної природи, що разом складають нероздільне ціле і забезпечують виконання системою складної функції, яка описується досить складною математичною моделлю. Станом на теперішній час дослідження в цій сфері досить нечисленні.

Побудовано модель ОСС за наявності пріоритетного потоку великих задач. Завдання вважається великим, якщо його ранг більше $\frac{l}{2}$, де l – число машин у системі [16].

Передбачається, що на ОСС з l обчислювальних машин надходить Пуассонівський потік великих задач з параметром λ . Ймовірність надходження завдання з рангом $k \in b_k$, $\sum_{k>\frac{l}{2}} b_k = 1$. Задачі обслуговуються в порядку надходження.

Закон обслуговування є довільним і своїм для кожного рангу. Система знаходиться в стані i , якщо i задач знаходяться в черзі. Ймовірність $G_{ij}(x)$ переходу системи i в стан j за час x визначається наступним чином:

$$Q_{ij}(x) = \sum_{v>\frac{l}{2}} b_v \int_0^x [1 - e^{-\lambda(x-y)}] e^{-\lambda y} \frac{(\lambda y)^j}{j!} dH_v(y),$$

$$Q_{ij}(x) = \sum_{v>\frac{l}{2}} b_v \int_0^x e^{-\lambda y} \frac{(\lambda y)^j}{j!} dH_v(y),$$

$$Q_{ij}(x) = \sum_{v>\frac{l}{2}} b_v \int_0^x [1 - e^{-\lambda(x-y)}] e^{-\lambda y} \frac{(\lambda y)^{j-i+1}}{(j-i+1)!} dH_v(y).$$

Тут $H_v(y) (v > \frac{l}{2})$ – функція розподілу часу розв'язання задач v -го рангу на системі.

За допомогою генератрис отримані умови, при яких період зайнятості системи має кінцеву тривалість. Під періодом зайнятості розуміється різниця між моментом часу t_k , коли система переходить із зайнятого стану у вільний, і найбільшим моментом часу, що не перевершує його t_k , переходу з вільного стану у зайнятий.

Крім того, знайдений розподіл ймовірностей π_j того, що в черзі знаходяться j завдань, які очікують рішення. Ця інформація дозволяє зміною числа обчислювальних машин регулювати довжину черги в необхідних межах.

Проведено дослідження [16] функціонування ОСС при обробці потоків складних завдань у припущенні, що в систему з N елементарних персональних ЕОМ (ЕМ) з додатковою нескінченною зовнішньою пам'яттю надходить Пуассонівський потік програм (ρ - програми) з інтенсивністю α . Ймовірність надходження ρ - програми рангу $n \in \alpha_n$ ($\sum_{n=1}^R \alpha_n = 1, \alpha_n > 0, R$ - максимальний ранг програм, які надходять). Час

обслуговування ρ - програм може бути описано експоненціальним законом з параметром β . Пропонується, що ОСС можуть одночасно існувати підсистеми всіх рангів від 1 до R , тобто $N \geq \frac{R(R+1)}{2}$. Виділимо в ОСС множину з

$k \in E (E = \{0, 1, \dots, N\})$ і розіб'ємо його на підсистеми. Число підсистем рангу n , утворених у момент t зазначеним розбиттям, позначимо через $l_k(t), l_s(t)$ - число ρ - програм рангу n , що знаходяться в черзі довжиною s , у момент t . Введемо

випадковий процес $\Omega(t) = \left\{ l_{k,n}(t), l'_{s,n} \frac{t}{k} \in E, n \neq \overline{1, k}, s = 0, \infty \right\}$. У силу зроблених

припущень – він Марківський. Нехай $P_k^{l_1, \dots, l_k, l'_1, \dots, l'_k}(t)$ ймовірність того, що в момент

$t_{k_1} \left| \sum_{n=1}^R n l_{k_1, n}(t) \right|$ ЕМ зайняте обслуговуванням ρ - програм і в черзі зайнято відповідне

число місць в системі k_v гілок. Крім того, потрібно обчислити: P_{kN} - імовірність того,

що в ОСС знаходиться рівно k_v гілок; $N_{cp} = \sum_{k=1}^N k P_k + N \sum_{k=1}^{\infty} P_{N+s}$ - середнє число зайнятих

шин; $k_3(N) = \frac{N_{cp}}{N}$ - коефіцієнт ОСС, де

$$P_k = \sum P_k^{l_1, \dots, l_k, l'_1, \dots, l'_k} = \sum \lim_{t \rightarrow \infty} P_k^{l_1, \dots, l_k(t), l'_1, \dots, l'_k} \quad (\text{підсумовування ведеться по всіх можливих}$$

ЕМ на підсистеми) у припущенні, що виконується умова нормування: $\sum_{k=0}^{\infty} k = 1$.

Нехай $N_{k,R}$ - число способів, якими можна розбити k ЕМ ρ - програмами, максимальний ранг яких дорівнює R . Тоді підсумувавши $N_{k,R}$ раз $P_k^{l_1, \dots, l_R}$, одержимо потрібне значення P_k .

Значення $N_{k,R}$ визначають за рекурентною формулою:

$$N_{k,R} = \sum_{j=1}^R \sum_{i=1}^j N_{k-j,i}$$

При початкових умовах:

$$N_{k,1} = 1; N_{k,k} = 1; N_{k,j} = 0; k < j.$$

Ймовірність $P_k^{l_1, \dots, l_R, l'_1, \dots, l'_R}$ того, що в ОСС рівно k гілок при певному розгалуженні $l_n, l'_n (n = 1, R)$ знаходиться як розв'язок системи лінійних рівнянь, складений методом

теорій масового обслуговування. Імовірність зайнятості k ЕМ ОСС у момент часу $t + \Delta t$ визначають як суму ймовірностей трьох несумісних подій:

1) у момент t k ЕМ зайняті розбиванням l_n , за час Δt не прийшла ні одна ρ - програма і жодна підсистема не закінчила обслуговування;

2) у момент t зайнято $k - n$ ЕМ, але за час Δt надійшла програма рангу n , $n = \overline{1, R}$;

3) у момент t зайнято $k + n$ ЕМ, але за час Δt закінчилось обслуговування ρ - програми рангу n , $n = \overline{1, R}$.

Переходячи до межі при $\Delta t \rightarrow 0$, а потім при $t \rightarrow \infty$ отримуємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь щодо ймовірності $P_k^{l_1, \dots, l_R, l'_1, \dots, l'_R}$.

Вирішуючи цю систему рівнянь, визначаємо ймовірності P_k підсумовуванням $P_k^{l_1, \dots, l_R, l'_1, \dots, l'_R}$ по різноманітних комбінаціях $l_1, \dots, l_R, l'_1, \dots, l'_R$.

За допомогою ймовірностей $R_k, k = 0, \infty$ визначається ймовірність відмови в обслуговуванні, ймовірність того, що всі ЕМ вільні, середнє число зайнятих машин та інші характеристики системи. На рис. 1 наведена залежність між середнім числом загальних процесів N_{cp} і загальним числом N машин.

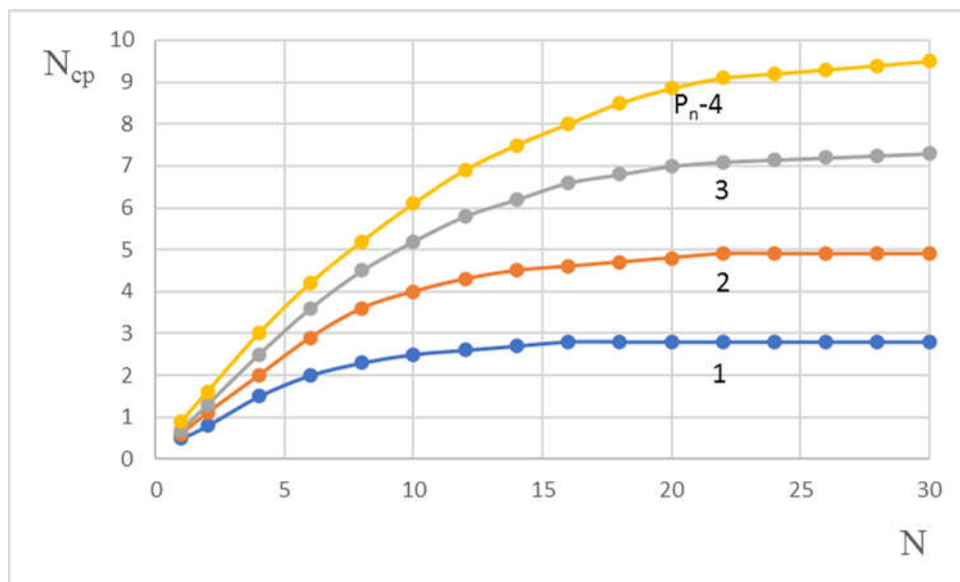


Рис. 1. Залежність середнього числа загальних процесів N_{cp} від загального числа N ЕОМ ОСС при обслуговуванні з чергою в різноманітних значеннях ($\alpha_n = 0,25; n = 1,4$).

Запропонуємо новий підхід [17] до дослідження функціонування складних систем. Передбачається, що система має різнотипні ресурси та заявки вимагають різних комбінацій цих ресурсів. Таким чином, пропонується досить детальна модель системи з званої багато ресурсної СМО. При цьому була вивчена тільки одна характеристика – потужність системи; описується метод визначення межі потужності за умови, що відомі характеристики вхідного потоку заявок.

Модель багато ресурсної СМО ґрунтується на наступних положеннях:

1) вузол обробки представляє собою ресурси різних типів; в системі може бути довільне, але фіксоване число елементів кожного типу; заявки, які надходять, вимагають одночасного використання деяких комбінацій системних ресурсів;

2) у будь-який момент часу робота належить одному з декількох класів і має фіксовані вимоги на ресурси. Безліч станів обробки визначається класом приналежності

роботи та фіксованими вимогами на ресурси. Для кожного стану обробки завдання визначається розподіл часу обслуговування для часу між переходами зі стану в стан. По завершенню обслуговування в певному стані обробки задачі наступний стан вибирається відповідно до матриці перехідних ймовірностей Марківського процесу;

3) заявки надходять на систему з одного або декількох необмежених джерел; визначена середня інтенсивність надходження робіт з різними початковими станами обробки;

4) можливі три форми розподілу ресурсів (без розподілу або мультиплексування ресурсів, розподіл ресурсів, мультиплексування). Спосіб розподілу ресурсів впливає як на швидкість проходження робіт, так і на ступінь паралельності обробки завдань системи.

Введено позначення: I - число типів ресурсів; R_i - кількість ресурсів i -го типу в системі $i = \overline{1, I}$; K - кількість різних векторів вимог на ресурси, допустимих в системі.

$$\overline{V}_k = \begin{bmatrix} V_{1,k} \\ \dots \\ V_{I,k} \end{bmatrix} - \text{вектор вимог роботи на ресурси, де } V_{i,k} - \text{число необхідних ресурсів}$$

i -го типу $i = \overline{1, I}, k = \overline{1, K}$.

Стан обробки завдання визначається парою (j, k) , що означає: робота належить класу j і вимагає безліч ресурсів, що дається \overline{V}_k . Для зручності позначень проводиться ізольоване відображення множини пар $\{(j, k)\}$ на множину $\{l\}$ простих індексів; $L = I \times K$ число станів обробки завдань; S_l - стан l обробки завдань $1 \leq l \leq L$.

$$\overline{W}_l = \begin{bmatrix} W_{1,l} \\ W_{2,l} \\ \dots \\ W_{I,l} \end{bmatrix} - \text{вектор вимог на ресурси роботи в стані } S_l, W_{i,l} - \text{кількість ресурсів}$$

i -го типу необхідного для задачі в стані S_l .

Для всього завершення роботи необхідне проходження через послідовність станів. Завершення роботи еквівалентно переходу в заключний стан "0", що позначається через S_0 . Час обслуговування, необхідного роботою, яке перейшло в стані S_l - це час, протягом якого робота використовує ресурси W_l до переходу в черговий стан. Нехай T_l середній час обслуговування, необхідну завданням у стані $S_l, l = \overline{1, L}$.

Для вирішення цього завдання запишемо *твердження 1*. Опинившись в стані S_l робота залишається в ньому до закінчення часу обслуговування.

Твердження 2. Наступний стан визначається дискретним Марківським процесом, який описується матрицею $\overline{P}; \overline{P} = (L+1) \times (L+1)$ стохастична матриця перехідних ймовірностей. Заявки на роботу надходять на систему з одного або декількох необмежених джерел, причому інтенсивність надходження завдань з початковим станом S_l дорівнює λ_l , загальна інтенсивність $\lambda = \sum_{l=1}^L \lambda_l$. Знаючи λ можна

визначити ймовірність знаходження роботи в початковому стані $S_l: f_l = \frac{\lambda_l}{\lambda}$. Розподіл

початкових станів робіт дається вектором $\overline{F} = [f_1, f_2, \dots, f_L]$. Використовуючи вектор \overline{F}

і матрицю \bar{P} , можна визначити $\bar{G} = [g_1, g_2, \dots, g_L]$, де g_l - середнє число перебувань роботи в стані S_l .

У багато ресурсних СМО передбачається існування постійних розподілів часу обслуговування та інтенсивного надходження для кожного класу заявок. Визначається $\pi_0(\lambda)$ - імовірність того, що система вільна, $\pi_m(\lambda)$ - імовірність того, що обслуговується комбінація m , $m = \overline{1, M}$.

Твердження 3. Якщо параметри $g_l, l = \overline{1, L}$ постійні та розподіл часу обслуговування також постійний, то загальна інтенсивність вхідного потоку не змінюється.

На підставі твердження 3 можна сказати, що описувана система має фіксовані характеристики потоку робіт. Для даного алгоритму розподіл завдань і фіксованих характеристик потоку робіт знаходиться потужність системи, яка визначається як інтенсивність вхідного потоку λ_{bx} :

$$\lim_{\lambda \uparrow \lambda_{bx}} \pi_0(x) = 0,$$

де $\lambda \uparrow \lambda_{bx}$ означає “ λ прямує до λ_{bx} знизу”.

Межа потужності λ_{max} для багато ресурсної СМО визначається як інфімум інтенсивностей вхідних потоків, при яких гарантується насичення, незалежно від використовуваного алгоритму розподілу заявок.

Для визначення межі потужності багато ресурсної СМО пропонується наступний метод.

Припустимо, що g_l (середнє число перебувань роботи в стані S_l) і T_l (середній час обслуговування роботи в стані S_l) обмежені і додатні для кожного стану обробки завдань S_l константи. Межа потужності λ_{max} є вирішенням наступного завдання лінійного програмування:

$$\lambda_{max} = \max_{\pi(\lambda)} \sum_{m=1}^M c_m \pi_m(\lambda),$$

причому

$$\sum_{m=1}^M \pi_m(\lambda) = 1,$$

де $\pi_m(\lambda) \geq 0, 1 \leq m \leq M$ і

$$\sum_{m=1}^M A_{l,m}(\lambda) = 0$$

для $1 \leq l \leq L-1$, де

$$c_m = \left\{ \sum_{l=1}^L e_{m,l} k_{l,m} \right\} / \left\{ \sum_{l=1}^L g_l T_l \right\}, m = \overline{1, M};$$

$$A_{l,m} = e_{m,l} k_{l,m} / (g_l T_l) - e_{m,l+1} k_{l+1,m} / (g_{l+1} T_{l+1}),$$

$m = \overline{1, M}, l = \overline{1, L-1}$, де $k_{l,m}$ - число робіт з комбінації m в стані S_l ; $e_{m,l}$ - середня швидкість обробки завдання з комбінації m в стані S_l .

Ця методика дозволяє визначити межі потужності для системи з фіксованими характеристиками вхідного потоку. Так як завдання лінійного програмування містить L обмежень, то не більше L змінних $[\pi_m(\lambda)]$ повинні не дорівнювати нулю. Значення $\pi_m(\lambda)$ визначає долю часу, протягом якого система повинна обробляти комбінацію m , щоб досягти межі M потужності. Єдиність рішення не гарантується. Якщо є кілька екстремальних точок, то будь-яка опукла їх комбінація також буде екстремальною.

Знаючи набір $\{\pi_m(\lambda)\}$, на якому досягається екстремум, можна визначити “небажані” для призначення комбінації (ті, для яких $\pi_m(\lambda) = 0$) і “бажані” ($\pi_m(\lambda) \neq 0$). Якщо прямує до розтягування повної потужності, то слід віддавати перевагу “бажаним” комбінаціям.

Слід зауважити, що техніка визначення межі потужності “бажаних” і “небажаних” комбінацій, інформацію про які корисно використовувати при розподілі заявок, на практиці може застосовуватися тільки при дослідженні малих систем, для яких кількість можливих комбінацій досить невелика.

Якщо розглядається ОСС, яка обробляє скінченну множину завдань, то визначається необхідна кількість c_{\min} джерел запиту, які забезпечують ефективне використання робочого поля обчислювальної системи, орієнтованої на паралельне обчислення [18]. Робоче поле складається з множини однакових елементів – зон і при цьому вся система містить S зон. Для визначення $c_{\min}(\delta)$ пропонується наступна модель.

Нехай величини запитів l_i від i -го джерела має однаковий розподіл, тобто $l_i = k$ з ймовірністю P_k для всіх цілочисельних значень k і $i = 1, \xi$.

На кожному такті ресурси розподіляються таким чином: у випадковому порядку нумеруються джерела запитів і ресурси виділяються послідовно у відповідності з нумерацією на даному такті. Процес розподілу ресурсів закінчується, коли всі запити задоволені або як тільки черговому джерелу запитів не вистачило ресурсів. У цьому випадку наступні джерела запитів не розглядаються, хоча серед них можуть бути такі, від яких число запитів не перевершує невикористаних процесорних зон, які залишилися.

Ціллю цієї дисципліни обслуговування може служити дискретні випадкові блукання частинки по відріжку цілочисельної довжини $[0, \delta]$. При цьому початковому положенні частинка перебуває на лівій межі відрізка; при виділенні необхідного ресурсу $l_i = k$ чергового джерела запитів частинка запитів переміщається на k одиниць у напрямку правої межі відрізка. Число повних стрибків частки на відріжку $[0, \delta]$ відповідає числу джерел запитів, які отримали на даному такті роботи системи необхідний ресурс.

Математичне сподівання l_z , де $\delta = a - z$, $0 \leq z \leq \delta < a$, числа обслугованих на одному такті джерел запитів за описаної дисципліни розподілу ресурсів виходить таким чином. Нехай $d_{z,n}$ - ймовірність того, що при початковому положенні частинки

($0 < z < a$) блукання частинки завершується рівно за n кроків. Тоді $d_{z,n+1} = \sum_{x=1}^{a-1} d_{x,n} P_{x-z}$.

Позначимо $d_z(S) = \sum_{n=0}^{\infty} d_{z,n} S^n$. Множачи попередні рівності на S^{n+1} , підсумовуючи по $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$, диференціюючи отримане співвідношення з урахуванням $d_z(1) = e_z$, отримаємо при $S = 1, e_z - \sum_{x=1}^{a-1} P_{x-z} e_z = 1, x = 1, 2, \dots, a-1$.

Вирішення цієї системи дозволяє встановлювати мінімально необхідну кількість джерел запитів

$$c_{\min} = [e_z], z = 1, 2, \dots, a-1,$$

при заданому числі процесорних зон робочого поля $\delta = a - z$ (у квадратних дужках зазначена ціла частина числа). Коли перерозподіл ресурсів проводиться тактовно, описана модель може застосовуватися для вибору мультипрограмування як для мультипроцесорних (розподіл процесорів між завданнями), так і для мультипрограмних однопроцесорних обчислювальних систем (розподіл оперативної пам'яті між завданнями).

Для підрахунку кількості варіантів розміщень задач в обчислювальній системі в межах даної структури чи множини структур пропонується наступна методика [16].

Загальне число F_n структур системи порядку n визначається як число розбиття (без обмежень) P_n числа n . Під структурою розуміється сукупність $A = \{\lambda_i^{\alpha_i}\}$ обчислювальних компонентів (ОК), де λ_i - ранг ОК; α_i - число ОК рангу λ_i ; при цьому $\sum \lambda_i \alpha_i$ - порядок обчислювальної системи; $\sum \alpha_i = S$ - розмірність системи (число ОК в системі). Наведено такі формули (при $n < 14$):

а) число варіантів розміщень завдань у ЗС порядку n , що складається з S ОК рангів $\lambda_i < k$; $S_1 = \delta^{(k)}(n, S)$, де $\delta^{(k)}(n, S)$ - число Стірлінга другого роду [19];

б) число варіантів розміщення завдань у ЗС порядку n , що складається з S ОК рангів $\lambda_i \leq k$:

$$S_2 = \sum_{z=0}^n (n) \sum_{j=0}^S (-1)^j \delta^{(1)}(n-r, s-j) \delta^{(k+1)}(r, j);$$

в) число варіантів розміщення завдань у ЗС порядку n , що складається з S ОК рангів λ_i :

$$S_3 = \begin{cases} 2^{-S} \sum_{i=1}^S (-1)^{S-1} \{i!(S-i)!\} (2i-S)^n, 2/\lambda_i \\ \sum_{j=0}^S (-1)^{S-j} \{(S-j)!j!\} 2^{-j} \sum_{i=0}^j \binom{j}{i} (2i-j)^n, 2/\lambda_i \end{cases};$$

г) число варіантів розміщення завдань у ЗС порядку n , що складається з ОК рангів $\lambda_i, k \leq \lambda_i \leq l$:

$$S_4 = \sum_{j=0}^S \sum_{r=0}^n (-1)^j \binom{n}{r} \delta^{(k)}(n-r, s-1) \delta^{(i+1)}(r, j).$$

Очевидно, підрахунок числа варіантів розміщення завдань для систем великого порядку представляє значну обчислювальну складність, що дещо знижує практичну цінність описаної методики.

В [20] пропонується наступна методика визначення ймовірнісних характеристик ОСС в режимі пам'ятної обробки складних завдань при різних дисциплінах розподілу.

Спочатку розглянемо випадок потактового розподілу. Припустимо, що система складається з M ідентичних процесорів; число завдань, що вимагають рішення при кожному розподілі, дорівнює k ; $i = \overline{1, k}$ завдання однаково ймовірно вимагає для свого рішення N_i процесів з множини $\{0, 1, \dots, N\}$; кожна завдання одночасно займає всі надані їй процесори, які після закінчення рішення одночасно всі звільнюються; час вирішення кожного завдання не перевершує T .

Ймовірність $P_k(M, N)$ вирішення всіх k завдань за один такт визначається як відношення числа δ всіх сприятливих варіантів

$$\sum_{i=1}^k n_i \leq M, 0 < n_i < N, i = \overline{1, k}$$

до числа W всіх можливих варіантів $0 \leq n_i \leq N, i = \overline{1, k}$.

Таким чином,

$$P_k(M, N) = \frac{B}{W} = \frac{\sum_{n_1=0}^M \sum_{n_2=0}^{M-n_1} \dots \sum_{n_k=0}^{M-n_1 \dots n_{k-1}} \prod_{i=1}^k n_i}{(N+1)^k},$$

де $n_i = \{1, 0 \leq n_i \leq N; 0, n_i > N\}$.

Наведене рівняння не дозволяє практично знайти ймовірність $P_k(M, N)$ при досить великих значеннях параметрів M, N і k . Тому була отримана формула, яка дає приблизне значення $P_k(M, N)$:

$$P_k(M, N) = \frac{1}{k!} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{M}{N} \rfloor} (-1)^j c_k^j \left(\frac{M}{N} - j\right)^k + 0\left(\frac{2}{N}\right),$$

де $\lfloor \frac{M}{N} \rfloor$ – ціла частина числа.

Вона придатна для практичних обчислень і справедлива при $M \geq k$ і $N \geq k$. Саме такі співвідношення параметрів характерні для проєктованих нині ОСС, які повинні містити сотні і тисячі міні-процесорів і обслуговувати десятки користувачів.

Використовуючи $P_k(M, N)$ можна визначити розподіл ймовірностей числа вирішених за один такт задач:

$$P_{k,s}(M, N) = P_s(M, N) \prod_{i=1}^{k-s} [1 - P_{s+i}(M, N)], S \leq k;$$

математичне сподівання кількості вирішених за один такт задач:

$$\bar{k}(k, M, N) = \sum_{s=1}^k s P_{k,s}(M, N),$$

та інші ймовірнісні характеристики ОСС. На рис. 2-4 наведено графіки залежностей $P_k(M, N)$, $\bar{k}(k, M, N)$, $\bar{k}(k, M, N)/k$ при різних значеннях параметрів M, N і k .

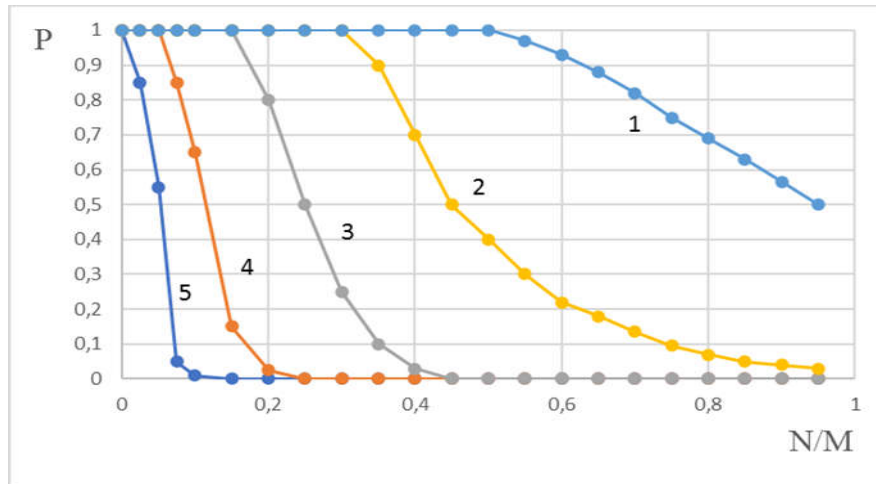


Рис. 2. Графік залежності $P_k(M, N)$ від відношення N/M при k , що дорівнює 2 (крива 1), 4 (крива 2), 8 (крива 3), 16 (крива 4) і 32 (крива 5).

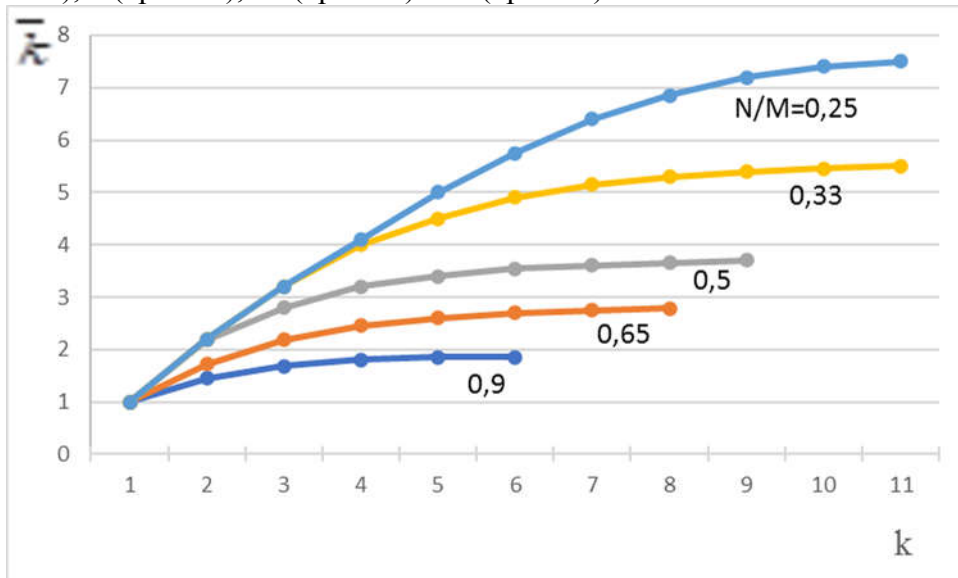


Рис. 3. Залежність математичного сподівання числа обслужених заявок \bar{k} від загального числа користувачів k при різноманітних значеннях відношення N/M

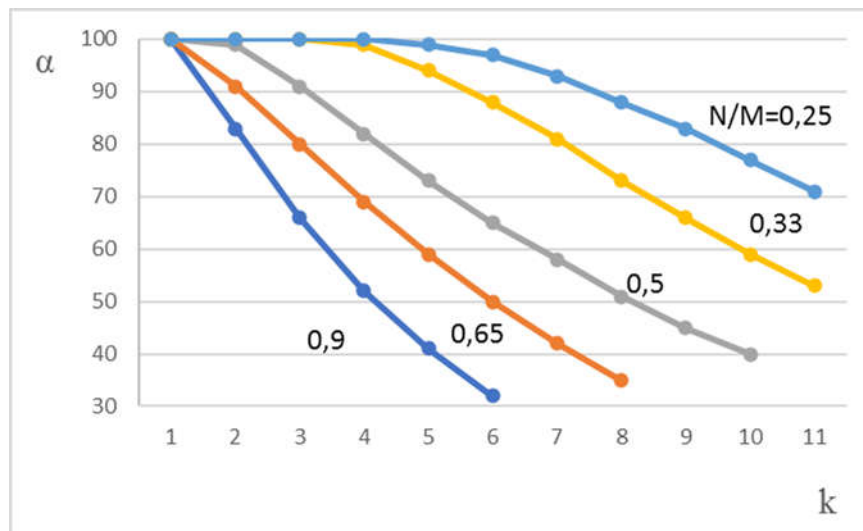


Рис. 4. Залежність відношення $\alpha = \frac{\bar{k}}{k}$ від загального числа користувачів k при різноманітних значеннях відношення N/M

Висновки

Вивчено особливості поведінки інформаційної системи в залежності від кількості користувачів шляхом проведення математичного моделювання. Отримані результати досліджень узгоджуються з якісними уявленнями про поведінку системи та її насичення при збільшенні кількості користувачів. Результати можуть бути використані при виборі параметрів кіберзахисених інформаційних систем, що проектується.

Список літератури

1. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України: Закон України від 05 жовт. 2017 р. № 2163-VIII. *Відомості Верховної Ради України*. 2017. № 45. Ст. 403. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19/conv#Text>.
2. Бутузов В. М. Протидія комп'ютерній злочинності в Україні (системно-структурний аналіз): монографія. Київ, 2010. 408 с.
3. Кримінальний кодекс України: Закон України від 05 квіт. 2001р. № 2341-III. *Відомості Верховної Ради України*. 2001. № 25-26. Ст. 131. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text>.
4. Термінологічний довідник з питань технічного захисту інформації / В.О. Хорошко, І.М. Огаркова, Д.В. Чирков та ін. / за заг. ред. проф. В.О. Хорошка. Київ, 2003. 286 с.
5. Кудінов В. А. Вирішення проблем відбору та підготовки кадрів правоохоронців щодо протидії кіберзлочинності. *Кадровий вісник*. № 1. 2011. С. 51–68.
6. Термінологічний довідник з технічного захисту інформації на об'єктах інформаційної діяльності / С.Р. Коженевський, Г.В. Кузнецов, В.О. Хорошко та ін. / за заг. ред. проф. В.О. Хорошка. Київ, 2007. 365 с.
7. Словник термінів з кібербезпеки / В.М. Бутузов, В.Д. Гавловський, О.Д. Довгань та ін. / за заг. ред. О.В. Копана, Є.Д. Скулиша. Київ, 2012. 214 с.
8. Корнейко О. В., Кудінов В. А. Правове регулювання основних термінів щодо систем обробки інформації у сфері забезпечення кібербезпеки в Україні.

- Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання. *Матеріали III Всеукр. наук.-практ. конф. Одеса: Одеський держ. ун-т внутр. справ*, 2018. С. 24–26.
9. Юдкова К. В. Особливості визначення поняття «інформаційна система». *Інформація і право*. 2015. № 2 (14). С. 39–44.
 10. Термінологія законодавства. Верховна Рада України.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/term/11471>.
 11. Swan R. J., Fuller S. H., Siewiorek D. P. Cm. A modular, multi-microprocessor. *AFIPS Couf. Proc.* 1997. V. 46. P. 637–644.
 12. Бурков В. Н., Ловецкий С. Е. Методы решения экстремальных комбинаторных задач. *Изв. АН СССР: сер. техн. кибернетика*. 1988. С. 82–93.
 13. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. М.: Наука, 1982. 286 с.
 14. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 487с.
 15. Regis R. C. Multiserver Queueing Models of Multiprocessor Systems. *IEEE Trans.* 1993. V.C-22, № 8. P. 736–744.
 16. Михайлов В. А., Хорошко В. А. Принципы построения многопроцессорных вычислительных систем, расчет их производительности. *Зб. наук. праць Севастопольського військово-морського інституту ім. П.С. Нахімова*. 2006. Вип. 1 (9). С. 102–106.
 17. Kenneth J. O. Capacity Bounds for Multiresource Quenes. *Journal of ACM*. 1977. V. 24, P. 648–663.
 18. Егоров Ф. И., Орленко В. С., Хорошко В. А. Проектирование сложных информационных сетей. *Вісник ДУІКТ*. 2007. Т. 5. № 4. С. 39–51.
 19. Оре О. Теория графов. М., 1980. 338с.
 20. Макаревич О. Б., Саак Э. М., Чефранов А. Г. Анализ загрузкиности однородных микропроцессорных вычислительных систем коллективного пользования. *Автоматика и вычислительная техника*. 1990. № 4. С. 32–36.

MATHEMATICAL MODELING OF THE OPERATION OF CYBER-PROTECTED INFORMATION SYSTEMS DEPENDING ON THE NUMBER OF USERSV.O. Horoshko¹, V.A. Kudinov²

¹National Aviation University, Lubomyr Huzer Ave, 1, Kyiv, 03058, Ukraine;
e-mail: professor_va@ukr.net

²National Academy of Internal Affairs, Solomyanska Sq., 1, Kyiv, 03035, Ukraine;
e-mail: kudinov_va@ukr.net

Today, the information society is emerging in the context of cybercrime, that is, crimes involving the misuse of cybernetic computer systems. Chapter XVI of the six articles of the Criminal Code of Ukraine is devoted to criminal offenses in the field of use of electronic computers (computers), systems and computer networks and telecommunication networks. In particular, article 3631 contains the crime of interfering with the operation of computers, automated systems, computer networks or telecommunication networks through the mass dissemination of telecommunication messages. Among the ways to combat the criminal offense under article 3631 is the creation of cyber-secure information systems. At present, the issues of conducting appropriate mathematical modeling of the functioning of cyber-protected information systems depending on the number of users within the meaning of article 3631 remain unresolved. Therefore, the purpose of this work was to conduct this study. Important results of this work are to obtain under the given initial conditions the corresponding mathematical expressions that allow to describe the behavior of the information system in general depending on the number of users (queries). The obtained results of mathematical modeling for certain parameters of the system are consistent with qualitative ideas about the behavior of the system and its saturation with increasing number of users. The practical significance of the results of the work is that its results can be used when choosing the parameters of cybersecured information systems being designed.

Keywords: mathematical modeling, information systems, system behavior, cybersecurity, system users.

ІНФОРМАТИКА ТА МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ В МОДЕЛЮВАННІ

Том 11, номер 4, 2021. Одеса – 140 с., іл.

ИНФОРМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ

Том 11, номер 4, 2021. Одесса – 140 с., ил.

INFORMATICS AND MATHEMATICAL METHODS IN SIMULATION

Volume 11, No. 4, 2021. Odesa – 140 p.

Засновник: Національний університет «Одеська політехніка»

Зареєстровано Міністерством юстиції України 04.04.2011р.

Свідоцтво: серія КВ № 17610 - 6460Р

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського національного політехнічного університету (протокол № 5 від 16.11.2021)

Адреса редакції: Національний університет «Одеська політехніка»,
проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044 Україна

Web: www.immm.op.edu.ua (immm.opu.ua)

E-mail: immm.ukraine@gmail.com

Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за підбір, точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей. Редколегія залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали

© Національний університет «Одеська політехніка», 2021