



Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"



Сучасні Інформаційні системи

Advanced Information Systems

Том 2, № 3

Volume 2, No. 3

**Щоквартальний
науково-технічний журнал**

Заснований у березні 2017 року

У журналі публікуються результати досліджень з експлуатації та розробки сучасних інформаційних систем у різних проблемних галузях. Журнал призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, аспірантів, а також студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

Засновник і видавець:

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

Кафедра "Обчислювальна техніка та програмування",
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна

Телефон:

+38 (057) 707-61-65

E-mail редколегії:

kuchuk56@ukr.net

Інформаційний сайт:

<http://ais.khpi.edu.ua>

**Quarterly
scientific and technical journal**

Founded in March 2017

The journal publishes the research study from the usage and development of advanced information systems in various problem areas. The journal is intended for researchers, lecturers, doctoral students, postgraduate students, and for senior students of the corresponding specialties.

Founder and publisher:

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Department of Computer Science and Programming,
61002, Ukraine, Kharkiv, Kyrpychova str., 2

Phone:

+38 (057) 707-61-65

E-mail of the editorial board:

kuchuk56@ukr.net

Information site:

<http://ais.khpi.edu.ua>

*Затверджений до друку Вченою Радою Національного технічного університету
"Харківський політехнічний інститут" (протокол від 25 вересня 2018 року № 7).*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 22522-12422Р від 13.01.2017 р.

Харків • 2018

Редакційна колегія

Головний редактор:

СОКОЛ Євген Іванович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*).

Заступник головного редактора:

СЕМЕНОВ Сергій Геннадійович
(*д-р техн. наук, ст. наук. співр., Харків, Україна*).

Члени редакційної колегії:

АЛІШОВ Надір Ісмаїл огли
(*д-р техн. наук, проф., Київ, Україна*);
БАЙРАМОВ Азад Агахар огли
(*д-р фіз.-мат. наук, проф., Баку, Азербайджан*);
ГНАТЮК Сергій Олександрович
(*д-р техн. наук, доц., Київ, Україна*);
КАРПІНСЬКИЙ Микола Петрович
(*д-р техн. наук, проф., Бельсько-Бяла, Польща*);
КАЧАНОВ Петро Олексійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КОСТЕНКО Павло Юрійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
КУЧУК Георгій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ЛИТВИН Василь Володимирович
(*д-р техн. наук, проф., Львів, Україна*);
ЛУКІН Володимир Васильович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
МАМУЗІЧ Ілля
(*д-р техн. наук, проф., Загреб, Хорватія*);
МИГУЩЕНКО Руслан Павлович
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);
РАСКІН Лев Григорович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
РАДЄВ Христо Кирилов
(*д-р техн. наук, проф., Софія, Болгарія*);
РУДНИЦЬКИЙ Володимир Миколайович
(*д-р техн. наук, проф., Черкаси, Україна*);
СЕРЕНКОВ Павло Степанович
(*д-р техн. наук, проф., Мінськ, Білорусь*);
СЕРКОВ Олександр Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
СМІРНОВ Олексій Анатолійович
(*д-р техн. наук, проф., Кропивницький, Україна*);
СТАНКУНАС Йонас
(*д-р техн. наук, проф., Вільнюс, Литва*);
СУЧКОВ Григорій Михайлович
(*д-р техн. наук, проф., Харків, Україна*);
ФІЛАТОВА Ганна Євгенівна
(*д-р техн. наук, доц., Харків, Україна*);
ХАКІМОВ Ортаголи Шарипович
(*д-р техн. наук, проф., Ташкент, Узбекистан*);
ШВАЧИЧ Геннадій Григорович
(*д-р техн. наук, проф., Дніпро, Україна*).

Відповідальний секретар:

ПОДОРОЖНЯК Андрій Олексійович
(*канд. техн. наук, доц., Харків, Україна*).

Технічний секретар:

ГРЕБЕНІЮК Дарина Сергіївна.

Editorial board

Editor-in-Chief:

Yevgen SOKOL
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine).

Associate editor:

Serhii SEMENOV
(Dr. Sc. (Tech.), Senior Res., Kharkiv, Ukraine).

Editorial board members:

Nadir Ismayil oğlu ALISHOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kyiv, Ukraine);
Azad Agalar oğlu BAYRAMOV
(Dr. Sc. (Ph-Math.), Prof., Baku, Azerbaijan);
Sergiy GNATYUK
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kyiv, Ukraine);
Mikolay KARPINSKI
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Bielsko-Biala, Poland);
Petro KACHANOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Pavlo KOSTENKO
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Heorhii KUCHUK
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Vasyl LYTUVYN
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Lviv, Ukraine);
Volodymyr LUKIN
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Ilya MAMUZICH
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Zagreb, Croatia);
Ruslan MYGUSHCHENKO
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine);
Lev RASKIN
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Hristo RADEV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Sofia, Bulgaria);
Volodymyr RUDNITSKY
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Cherkasy, Ukraine);
Pavel SERENKOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Minsk, Belarus);
Oleksandr SERKOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Alexey SMIRNOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kropyvnytskyi, Ukraine);
Jonas STONKUNAS
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Vilnius, Lithuania);
Hryhorii SUCHKOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Kharkiv, Ukraine);
Hanna FILATOVA
(Dr. Sc. (Tech.), Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine);
Ortagoli KHAKIMOV
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Tashkent, Uzbekistan);
Hennadii SHVACHICH
(Dr. Sc. (Tech.), Prof., Dnipro, Ukraine).

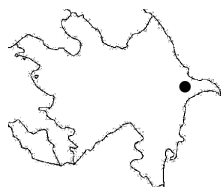
Responsible secretary:

Andrii PODOROZHNIAK
(Ph.D., Ass. Prof., Kharkiv, Ukraine).

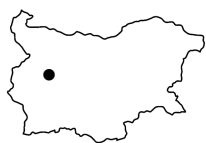
Technical secretary

Daryna HREBENIUK.

Географія статей номера



Азербайджан
Azerbaijan



Болгарія
Bulgaria



Іспанія
Spain



Польща
Poland



Україна
Ukraine

З М І С Т

ПРОБЛЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

<i>Ахієзер О. Б., Дунаєвська О. І., Сердюк І. В., Співак С. В.</i> Застосування методів машинного навчання для вирішення задачі аналізу біологічних даних (eng.) ...	5
<i>Дергачов К. Ю., Краснов Л. О., Челядін О. О., Зимовін А. Я.</i> Адаптивні алгоритми детектування обличчя і оцінка ефективності їх використання (eng.)	10
<i>Толстолюзка О. Г., Паршенцев Б. В., Мороз О. Ю.</i> Паралельна реалізація методу градієнтного бустінгу (eng.)	19

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Барсов В. И., Костерная Е. Ю.</i> Моделирование мобильной платформы с всенаправленными колесами	24
<i>Дмитрієв О. М., Борозенець І. О., Шило С. Г., Калімулін Т. М.</i> Імітаційна модель підтримки прийняття рішень з оцінки обстановки операторами автоматизованої системи управління повітряним рухом (eng.)	30
<i>Кошлань О. А.</i> Концептуальна модель геоінформаційної системи спеціального призначення (eng.)	36

МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

<i>Коваленко О. В.</i> Удосконалений метод управління ризиками програмного забезпечення на основі напівмарковської моделі прийняття рішень	41
<i>Пасько Д. А., Молчанов Г. І., Давидов В. В.</i> Управління необмеженою кількістю хмарних сховищ ..	49
<i>Чала О. В.</i> Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах	54

МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І.</i> Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning	60
<i>Ізмайлов А. В., Петришин Л. Б.</i> Цифрова обробка інформації в розосереджених системах управління із застосуванням швидкого ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій	67
<i>Рысований А. Н.</i> Метод синтеза генераторов в конечном поле GF(3) с упрощением блоков умножения	76

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

<i>Гришманов Д. Є., Данюк Ю. В., Несміян О. Ю., Павленко М. А.</i> Метод оцінки діяльності чергової зміни районного диспетчерського центру	80
--	----

TABLE OF CONTENTS

PROBLEMS OF IDENTIFICATION IN INFORMATION SYSTEMS

<i>Akhiezer O., Dunaievska O., Serdiuk I., Spivak S.</i> Machine learning methods application for solving the problem of biological data analysis	5
<i>Dergachov K., Krasnov L., Cheliadin O., Zymovin A.</i> Adaptive algorithms of face detection and effectiveness assessment of their use	10
<i>Tolstoluzka E., Parshentsev B., Moroz O.</i> Parallel implementation of the method of gradient boosting	19

INFORMATION SYSTEMS MODELING

<i>Barsov V. Kosternaya E.</i> Mobile platform with omnidirectional wheels modeling (rus.)	24
<i>Dmitriiev O., Borozenec I., Shilo S., Kalimulin T.</i> Imitation model of support for decision-making based on assessment of the situation by operators of the automated air traffic control system	30
<i>Koshlan A.</i> Conceptual model of a specialized geoinformation system	36

ADAPTIVE CONTROL METHODS

<i>Kovalenko O.</i> Improved method of software risk management based on the semi-Markov decision-making model (ukr.)	41
<i>Pasko D., Molchanov G., Davydov V.</i> Unlimited cloud storage management (ukr.)	49
<i>Chala O.</i> Construction of temporal rules for the representation of knowledge in information control systems (ukr.)	54

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS SYNTHESIS

<i>Zykov I., Kuchuk N., Shmatkov S.</i> Architecture synthesis of the computer system of transaction control e-learning (ukr.)	60
<i>Izmailov A., Petryshyn L.</i> Digital information processing in dispersed control systems with application of the fast orthogonal transform based on symmetric ternary functions (ukr.)	67
<i>Rysovaniy A.</i> The method for the synthesis of generators in the terminal field of GF (3) (rus.)	76

INFORMATION SYSTEMS RESEARCH

<i>Grishmanov D., Danyuk Yu., Nesmiian O., Pavlenko M.</i> Method of estimation of activity of the duty change of the area control center (ukr.)	80
--	----

Дубницький В. Ю., Кобылин А. М., Кобылин О. А. Программная система оперативной оценки интервальной эффективности валютных операций, предназначенная для мобильных устройств 88	Dubnickij V., Kobylin A., Kobylin O. Software system exchange operations immediate estimation for mobile devices running (rus.) 88
Животовський Р. М., Моміт О. С. Аналіз методів обробки сигналів в системах МІМО (eng.) 93	Zhyvotovskiy R., Momit O. Analysis of signal processing methods in MIMO systems 93
Подорожняк А. О., Волоцков Є. А., Шевцова О. С. Дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів 97	Podorozhniak A., Volotskov Ye., Shevtsova O. Drone's control system research (ukr.) 97
Соболев А. М., Ланде Д. В. Ранжування мережі соціального характеру із врахуванням логарифмічної функції її зв'язків (eng.) .. 102	Soboliev A., Lande D. Social network nodes ranking in terms of logarithmic function of its link weights 102
Тюрніков М. М., Шишацький А. В., Микусь С. А., Міщенко А. О. Узагальнений показник оцінки ефективності систем військового радіозв'язку (eng.) 107	Tiurnikov M., Shyshatskyi A., Mikus S., Mishchenko A. Generalized indicator of the effectiveness evaluation of military radiocommunication systems 107
МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Шуклін Г. В., Барабаш О. В. Модель розрахунку інтенсивності кібернетичних атак в системі електронних торгів на фондовому ринку 111	Shuklin G., Barabash O. Model of cybernetic attacks intensity calculation in the electronic trading system on the stock market (ukr.) 111
ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ	
Алієв А. А., Байрамов А. А., Сабзієв Е. Н. Ефективність артилерійських систем (eng.)..... 115	Aliev A. A., Bayramov A. A., Sabziev E. N. Effectiveness of artillery systems 115
Бедерак Я. С., Гапон Д. А., Зуєв А. О. Метод визначення параметрів еквівалентного асинхронного електродвигуна у реальному масштабі часу (eng.) 123	Bederak Ya., Gapon D., Zuev A. Method of determining the parameters of an equivalent asynchronous electric motor in real time 123
Бульба С. С. Моделювання методів розподілу композитного застосування (eng.) 128	Bulba S. Composite application distribution methods modeling 128
Дімітров М. С. Моделювання та дослідження процесу програмно-керованого виробництва джгутів з використанням ультразвукового зварювання для з'єднання проводів (eng.) 132	Dimitrov M. S. Modelling and study of flow movements in the manufacturing of wire harnesses using ultrasonic welding 132
Ковтун А. В., Табуненко В. О. Метод підвищення міцності стволів мінометів (eng.) 137	Kovtun A., Tabunenko V. The method of strengthening of durability of a mortar barrel 137
Серков О. А., Бреславець В. С., Яковенко І. В., Дзябенко О. Збудження поверхневих коливань напівпровідникових структур під впливом стороннього електромагнітного випромінювання (eng.) 142	Serkov A., Breslavets V., Yakovenko I., Dziabenko O. Excitation of surface vibrations of semiconductor structures exposed to external electromagnetic radiation 142
Наші автори 147	Authors 147
Алфавітний показчик 150	Alphabetical index 150



За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Включений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук" наказом Міністерства освіти і науки України від 04.04.2018 № 326 (додаток 9, п. 56)

Problems of identification in information systems

UDC 519.618

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.01

O. Akhiezer, O. Dunaievska, I. Serdiuk, S. Spivak

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

MACHINE LEARNING METHODS APPLICATION FOR SOLVING THE PROBLEM OF BIOLOGICAL DATA ANALYSIS

According to statistics, every fifth married couple is faced with the inability to conceive a child. Male germ cells are very vulnerable, and the growing number of cases of male infertility confirms that in today's world there are many factors that affect the activity of spermatozoa and their number. But the important thing is not so much their quantity, but quality. The spermogram is an objective method of laboratory diagnosis, which allows to accurately assess the man's ability to fertilize by analyzing ejaculate for a number of key parameters. Only a spermogram can answer the question of a possible male infertility and the presence of urological diseases. When constructing spermograms, it is important to determine not only the number of good spermatozoa, but also their morphology and mobility. Therefore, research and improvement of some stages of spermogram is the purpose of the study. This article addresses the problem of classification of spermatozoa in good and bad ones, taking into account their mobility and morphology, using methods of machine learning. In order to implement the first stage of machine learning (with a teacher) in the graphic editor, educational specimens (training sample) were created. The training was implemented by three methods: the method of support vector machine, the logistic regression and the method of K - the nearest neighbors. As a result of testing, the method K - the nearest neighbors is chosen. At the testing stage, a sample of 15 different spermatozoa was used in different variations of rotation around their axis. The test sample did not contain specimens from the training sample and was formed taking into account the morphological characteristics of the spermatozoa, but did not copy them from the training sample. At the final stage of study, the program's functioning was tested on real data.

Keywords: machine learning; spermogram; morphology; mobility; pattern recognition; binary classification; method K - the nearest neighbors.

Introduction

Male and female infertility is a problem that is relevant all over the world. According to statistics, every fifth married couple is faced with the inability to conceive a child. Male germ cells are very vulnerable, and the growing number of cases of male infertility confirms that in the modern world there are many factors that affect both the activity of spermatozoa and their number [1, 4]. But when fertilizing the ovule, not only the quantity and mobility of the spermatozoa, but also their morphology, that is, the appearance, is of paramount importance. Only the spermatozoa with normal shape move in a straightforward manner with the required speed and can give birth to a new life. Different anomalies of the body and tail of spermatozoa reduce the chances of conceiving naturally.

Statement of the problem

It is precisely to assess the quality of biological data that the spermogram exists. The applied form of spermogram is based on the standards of the World Health Organization. The document contains the following graphs listing the main parameters that are evaluated during the analysis: the volume of the ejaculate; acid-base balance; definition of spermatozoa antibodies; leukocytes; concentration of spermatozoa; total spermatozoa count; mobility; morphology; share of live spermatozoa.

Some other physical and chemical properties are also studied: appearance, hue, viscosity, speed of self-

expansion. Sharp deviations from normal values indicate a pathology that reduces or completely eliminates reproductive function. And if most of the parameters can be estimated without the use of an ECM, only with chemical reagents, others, such as concentration and quantity - are evaluated using a special device - hemocytometer, then the latter can be improved with the help of special equipment and software.

Currently, there are only a few systems for the recognition and testing of spermatozoa, but all of them are based on the CASA (Computer Assisted Sperm Analysis) [8, 9]. Let's consider the two most common: IVF 1 and SCA.

The essence of the IVF 1 system is as follows. When computer analysis of sperm, the computer identifies and tracks every sample that is observed in the microscopic field. For a fraction of a second the path through which the sperm passed can be traced, and many different parameters can then be calculated with a high degree of accuracy. Fig. 1 shows the functioning of the IVF system 1: shaky lines are the path of individual spermatozoa. The dots mark the non-moving spermatozoa.

But this computer system for determining morphology is only at the testing stage and can conduct research only on the basis of Kruger's criterion [2, 3].

SCA The SCA® CASA system for sperm analysis (Fig. 2) allows for accurate, repeat and automatic evaluation of the following sperm parameters: mobility, concentration, morphology, DNA fragmentation, viability and acrosomal response.

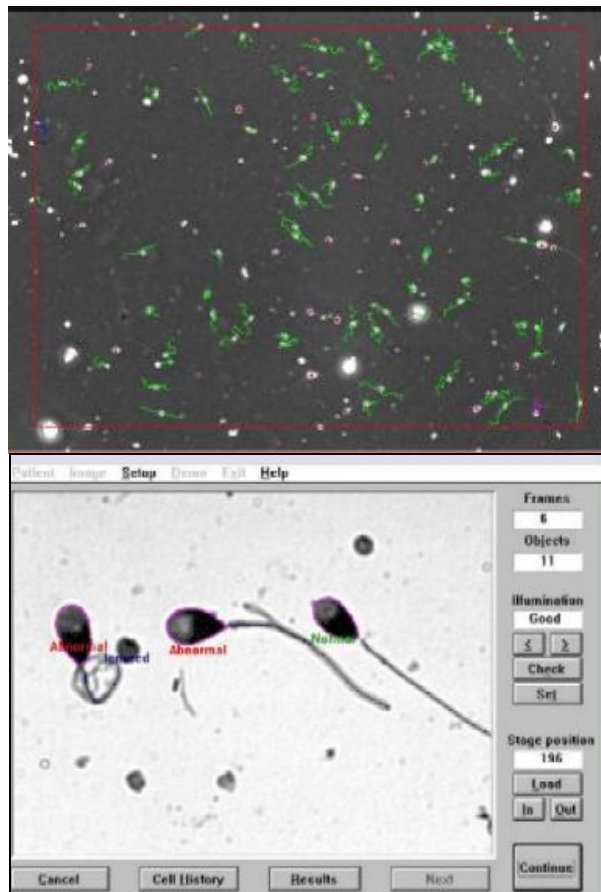


Fig. 1. The functioning of the IVF system 1

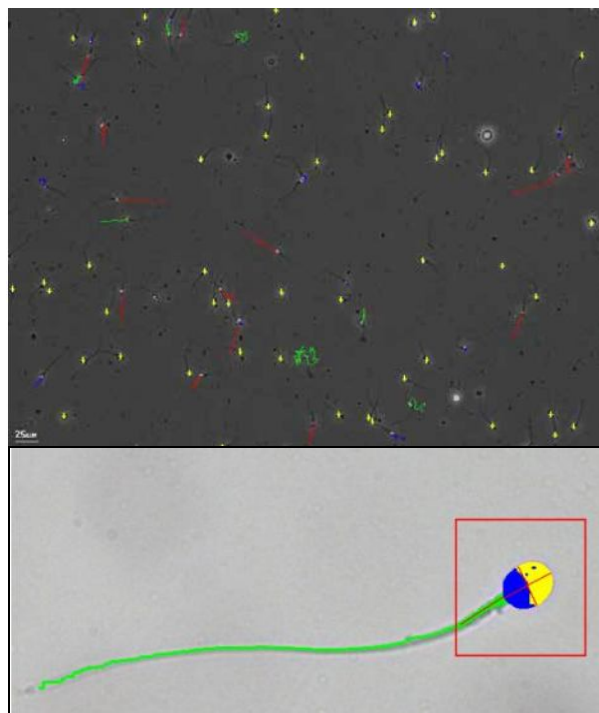


Fig. 2. The functioning of the SCA system for the evaluation of morphology

Spermatozoa are registered as normal or abnormal, according to established criteria: W.H.O., Strict Kruger-Tygerberg, David modified, adaptive or individual. At the same time, the system evaluates the size of the acrosomes, the head, the middle, the tail and the

presence of vacuoles. However, the analysis of biological materials using this system is very costly and not always fast.

The classification of spermatozoa in the normal and pathological forms by methods of machine learning, the allocation of their morphological features, the determination of the trajectory of motion and the calculation of distribution density will undoubtedly help scientists and biologists to improve and facilitate the research methods and improve the accuracy of the calculation for the compilation of spermogram. Therefore, there is a need to develop a system for analyzing biological data, which, on the one hand, would work in real time, and on the other hand, its operation would not lead to large financial costs.

Solving the problem

Taking into account the above-mentioned, it was decided to solve the problem of mobility by means of computer vision, and the problem of the establishment of morphological deviations - by means of machine learning [6, 7].

In order to determine how the spermatozoa look in the norm, it is necessary to correlate them with certain diagnostic criteria [5]. Normal spermatozoon consists of an oval head and a long, curved tail. Abnormal forms are characterized by very large or, conversely, small heads, double tails, irregular head shape, and others.

Initially, the input data were screenshots from a real video provided by the biological center, obtained using a microscope. Since there is a plurality of biological objects present on the video, and a single specimen is required for the training sample, each spermatozoon has been allocated with the additionally developed application (Fig. 3) and the resulting image was converted into binary format: black and white.

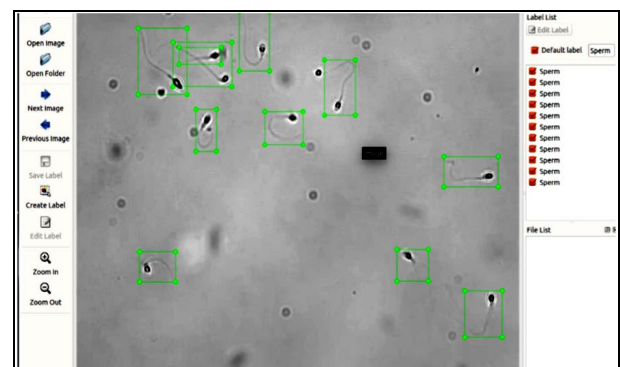


Fig. 3. Application for selecting individual objects

Since each instance has a different contrast level compared to the background, a single threshold value was selected. As a result, the data was not suitable for analysis and training, since they looked completely different from the original frames (Fig. 4).



Fig. 4. Initial data with a dimension of 72 by 72 pixels for the training sample

The figure shows that the data obtained are unsatisfactory for processing, analysis and classification. Based on this, it was decided to form perfect, close to real data in order to carry out a learning process on them and to see if further research is appropriate. Acquainted with the morphology and peculiarities of real spermatozoa, educational specimens were created in the graphic editor.

At the first stage of machine learning, a normal spermatozoon is considered as a reference, and a double one - as a defect, since it is this group that has the most pronounced deviations for analysis. The data were 1 normal and 2 bad spermatozoa (two tails and two heads), each of which was turned around its axis in a cycle with an increase of 1 degree (Fig. 5).

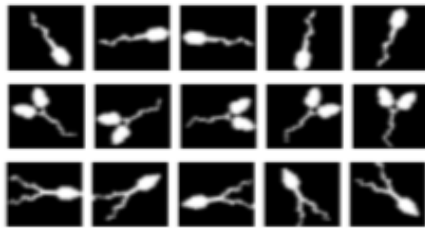


Fig. 5. Initial view of the data of the study sample (1077 pieces)

The data were received by the program, not as an image, but were presented as a code (Fig. 6).

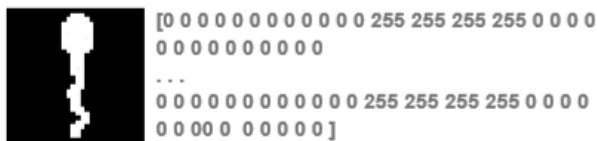


Fig. 6. Software representation of images

Since the classification problem is solved, and given the nature of the data for training, we will consider three methods of machine learning: support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and K-the nearest neighbors (KNN).

The functioning of the selected three methods has been tested on the training sample. It turned out that the method K - the nearest neighbors works better than others and has a sufficiently high speed of training. The results of the three teaching methods are shown in Fig. 7-9.



Fig. 7. The result of the program using the KNN method

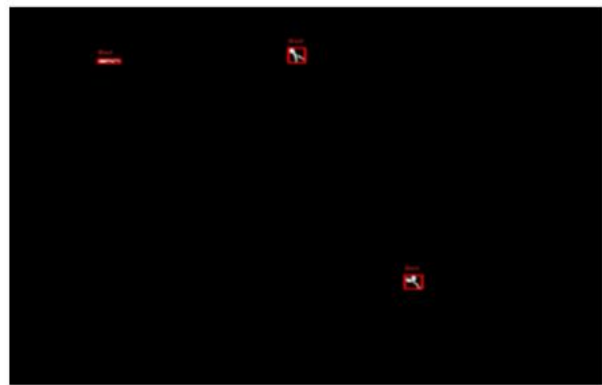


Fig. 8. The result of the program using the SVM method



Fig. 9. The result of the program using the LR method

At the second stage of machine learning a sample for further study was formed. Each specimen of the data for the training sample was placed on a large black coordinate plane measuring 100 by 100 pixels at its various points. In total 34560 elements of the training sample were received (Fig. 10). Since the spermatozoa were stored in blocks (good-bad-bad), the first 11520 pieces were labeled as good, and the remaining (2/3) were bad.



Fig. 10. The final version of the training sample

For testing, a sample of 15 different spermatozoa was used in different variations of rotation around their axis. The test sample did not contain copies from the training one and was formed taking into account the morphological characteristics of the spermatozoa, but did not copy them from the training sample (Fig. 11).



Fig. 11. Test sample measuring 30 by 30 pixels

Next, three spermatozoa were randomly selected (1 good and 2 bad) and were placed on a black background with the dimension of 720 by 720 pixels. On this background, the samples also rotated around their axis and also directly moved around the background in different directions on a certain trajectory. The video was artificially added to the rubbish of three types of different sizes and shapes.

The final picture for the testing was as follows: one good and two bad spermatozoa with a different angle of rotation and in different points on the coordinate plane moved in a random direction with a certain speed. Artifacts simulating biodegradable garbage in the amount of 9 pieces, three of each type, also at different random points on the coordinate plane (Fig. 12).



Fig. 12. A screenshot of the video that served as a platform for testing

The result of the program functioning on artificially simulated data using the KNN algorithm is presented in Fig. 13.

In the figure we can see that the main task of recognizing biological images is realized: the spermatozoon is framed with the help of the framework of the corresponding color. White, if it meets the necessary requirements and is recognized as good or otherwise, it is placed in the frame of grey color, which corresponds to its unsuitability for further biological tasks. Above the appropriate object is the inscription "good", which corresponds to a good specimen and "bad". For each of the spermatozoa the head is defined and it stands out in dot, and if the object has two heads, then each one stands out in its circle. The trajectory of the spermatozoa movement is represented by a white line, which originates from the center of the head. The distance traveled is always written under the object, it is calculated from the starting point of motion. In the upper right corner, the counter counts all spermatozoa on the plane and records these values in two categories: good and bad. Artifacts are not affected, but simply ignored as an object that does not carry any useful information.

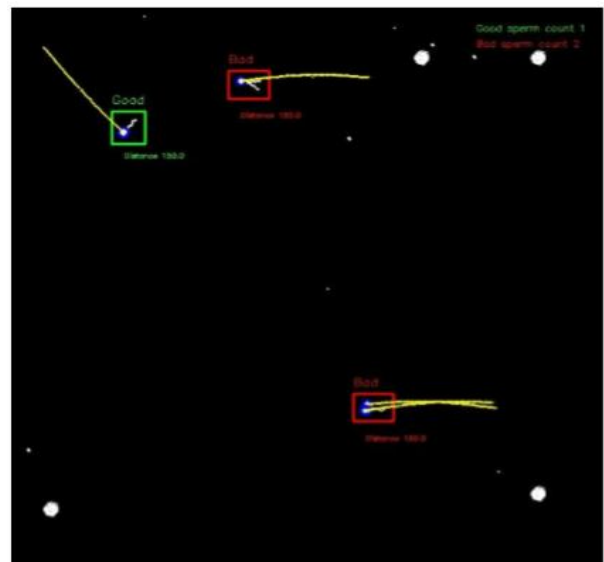


Fig. 13. The result of the program with the KNN method

At the final stage of the training the program was tested on real data. In Fig. 14 shows the work and results of the program on one of the real-time live stop-frame.

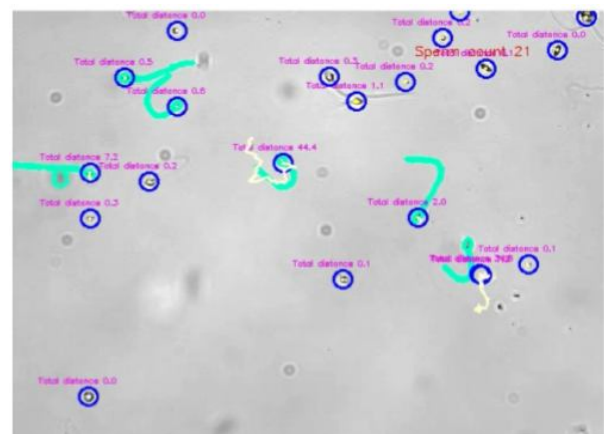


Fig. 14. Representation of the full functionality of the program on real data

Analyzing the results of the program, we can make a number of certain conclusions. The program shows good results for all the initial requirements for both artificially simulated data and real data that were provided by the biological center.

Conclusions

The task of displaying the trajectory, analysis of the traversed path for each individual sample is fully executed on both types of data, as well as the allocation of the head. Artifacts are not taken into consideration in both cases, the calculation of all biological objects is also successfully performed, which in the future will allow finding the concentration of spermatozoa for spermogram. As for the differences, on the real data we partly managed to morphologically allocate tails. On artificially modeled, we managed to achieve the classification of biological objects in normal and defective, although the study was conducted on the most notable morphological pathologies.

REFERENCES

1. Danilov, V.V. and Lelchuk, S.A. (2013), "Quantitative evaluation of spermograms in men based on interval scale", *Andrology and Genital Surgery*, No.1, pp. 44–48.
2. Kruger, T.F., Acosta, A.A. and Simmons, K.F. (1987), "New method of evaluating sperm morphology with predictive value for human in vitro fertilization", *Urology*, 30, pp. 248–251.
3. Kruger, T.F., Menkveld R and Stanger F.S.H. (1986), "Sperm morphologic features as a prognostic factor in in vitro fertilization", *Fertil Steril*, 46, pp. 1118–1123.
4. World Health Organization, Department of Reproductive Health and Research (2010), *WHO laboratory manual for the examination and processing of human semen*, 5th edition, 234 p.
5. World Health Organization (2001), *WHO guidelines on laboratory research of human ejaculate and interaction of spermatozoa with cervical mucus*, 4th edition, Publishing house "MedPress", Moscow, 144 p.
6. Theodoridis, Sergios and Koutroumbas, Konstantinos (2009), *Pattern Recognition*, 4th Edition, Academic Press, 984 p.
7. Poreva A.S. and Karpliuk, E.S. (2017), "Methods of machine learning for the study of lung sounds", *Biomedical instruments and systems*, No. 22 (6), pp. 41–46.
8. Talarczyk-Desole, J., Berger, A., Taszarek-Hauke, G., Hauke, J., Pawelczyk, L. and Jedrzejczak P. (2017), "Manual vs. computer-assisted sperm analysis: can CASA replace manual assessment of human semen in clinical practice?", *Ginekologia Polska*, No. 88 (2), pp. 56–60.
9. (2014), *Systems M-AD. SCA - Sperm Class Analyzer v. 4.1*, polish version, Microptic - Automatic Diagnostic Systems.

Received (Надійшла) 11.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

**Застосування методів машинного навчання
для вирішення задачі аналізу біологічних даних**

О. Б. Ахієзер, О. І. Дунаєвська, І. В. Сердюк, С. В. Співак

За статистикою, кожна п'ята подружня пара стикається з неможливістю зачаття дитини. Чоловічі статеві клітини дуже вразливі, зростає число випадків чоловічого безпліддя підтверджує, що в сучасному світі дуже багато чинників, які впливають і на активність сперматозоїдів і на їх кількість. Та важливою є не стільки їх кількість, скільки якість. Спермограма є об'єктивним методом лабораторної діагностики, що дозволяє максимально точно оцінити здатність до запліднення чоловіка, проаналізувавши еякулят за рядом найважливіших параметрів. Тільки спермограма здатна відповісти на питання про можливе чоловіче безпліддя та про наявність урологічних захворювань. При побудові спермограми, важливо визначати не тільки кількість добрих сперматозоїдів, але й їх морфологію та рухливість. Тому дослідження та вдосконалення деяких етапів спермограми і є метою дослідження. У даній статті вирішується задача класифікації сперматозоїдів на добрі та погані, з урахуванням їх рухливості та морфології, із застосуванням методів машинного навчання. Для реалізації першого етапу машинного навчання (з вчителем) у графічному редакторі були створені навчальні екземпляри (тренувальна вибірка). Навчання було реалізовано трьома методами: методом опорних векторів, логістична регресія та метод К – найближчих сусідів. За результатами тестування обрано метод К – найближчих сусідів. На етапі тестування використовувалася вибірка з 15 різних сперматозоїдів в різних варіаціях обертання навколо своєї осі. Тестова вибірка не містила примірників з тренувальної вибірки і була сформована з урахуванням морфологічних особливостей сперматозоїдів, але не копіювала їх з тренувальної вибірки. На завершальному етапі навчання роботу програми було протестовано на реальних даних.

Ключові слова: машинне навчання; спермограма; морфологія; рухливість; розпізнавання образів; бінарна класифікація; метод К-найближчих сусідів.

**Применение методов машинного обучения
для решения задачи анализа биологических данных**

Е. Б. Ахизер, О. И. Дунаевская, И. В. Сердюк, С. В. Спивак

По статистике, каждая пятая супружеская пара сталкивается с невозможностью зачатия ребенка. Мужские половые клетки очень уязвимы, растущее число случаев мужского бесплодия подтверждает, что в современном мире очень много факторов, которые влияют и на активность сперматозоидов и на их количество. И важно не столько их количество, сколько качество. Спермограмма является объективным методом лабораторной диагностики, что позволяет максимально точно оценить способность к оплодотворению человека, проанализировав эякулят по ряду важнейших параметров. Только спермограмма способна ответить на вопрос о возможном мужском бесплодии и о наличии урологических заболеваний. При построении спермограммы, важно определять не только количество хороших сперматозоидов, но и их морфологию и подвижность. Поэтому исследования и совершенствования некоторых этапов спермограммы и является целью исследования. В данной статье решается задача классификации сперматозоидов на хорошие и плохие, с учетом их подвижности и морфологии, с применением методов машинного обучения. Для реализации первого этапа машинного обучения (с учителем) в графическом редакторе были созданы учебные экземпляры (тренировочная выборка). Обучение было реализовано тремя методами: методом опорных векторов, логистическая регрессия и метод К - ближайших соседей. По результатам тестирования выбран метод К - ближайших соседей. На этапе тестирования использовалась выборка из 15 различных сперматозоидов в различных вариациях вращения вокруг своей оси. Тестовая выборка не содержала экземпляров с тренировочной выборки и была сформирована с учетом морфологических особенностей сперматозоидов, но не копировала их с тренировочной выборки. На завершающем этапе обучения работе программы были протестированы на реальных данных.

Ключевые слова: машинное обучение; спермограмма; морфология; подвижность; распознавание образов; бинарная классификация; метод К-ближайших соседей.

K. Dergachov, L. Krasnov, O. Cheliadin, A. Zymovin

National Aerospace University – Kharkiv Aviation Institute, Kharkiv, Ukraine

ADAPTIVE ALGORITHMS OF FACE DETECTION AND EFFECTIVENESS ASSESSMENT OF THEIR USE

Subject of research is the detection and recognition of faces. **The purpose** of this work is creation of modified algorithms of face detection, which are providing automatic brightness stabilization of the analyzed image regardless of brightness level. A technique is proposed for assessing the effectiveness of their work in comparison with the classical algorithm. **Research methods.** We will dwell in more detail on the first part of the problem – face detection and recognition. In the meantime, the most popular method used for searching the face area on an image is the Viola-Jones method, which is popular because of its known high speed and efficiency. It is based on an integral image representation, on the method of constructing classifiers based on adaptive boosting algorithm (AdaBoost) and on the combination classifiers in cascade structure method. The Viola-Jones method is firstly using cascades of wavelets (primitives) - Haar features. All of the above made it possible to build a face detector that works in real-time with a fairly high quality. However, there are a lot of disturbing factors, which are limiting the efficiency of such algorithm work. The major of them are spacial face position ambiguity on the analysed image and poor quality of stage lighting. **The results of the study.** The adaptive algorithms of face detection and recognition on digital images and video sequences in real-time, based on the Viola-Jones method, are suggested. An automatic stabilization of frame brightness is additionally added to the classical structure of such algorithms to compensate an effect of changes in the stage illumination level on quality of face detection. The structure of the algorithms is described and the software developed in Python programming language for a face detection and recognition using OpenCV library resources. Video data is processed in real time. An original method for the efficient estimating of the algorithm based on the criterion of the maximum probability of faces and their main elements (eye, nose, mouth) correct detection is proposed and implemented programmatically. The results of work of classic and suggested algorithms are compared. The examples of work and testing of software are given. **Conclusion.** The use of the obtained results allows to improve the quality of work and the reliability of the results when recognizing faces in different systems.

Keywords: face detection and recognition; the Viola-Jones method; an automatic stabilization of frame brightness; the probability of face and its main elements correct detection.

Introduction

Practical needs in face recognition are constantly increasing in different fields. The examples of the above are: security and face-control in the segment of mass social events and entertainment, search of potentially dangerous visitors suspected in terrorist intentions, bank cards and electronic payment verification and a lot of other actual and useful tasks. All of these is permanently attracts an attention to the fundament task of computer vision – veracious face detection and recognition on digital images and video sequences in real-time. It is necessary to steadily increase the quality of video data processing and improve face detection and recognition algorithms in complicated conditions.

Face detection process is generally divided in two parts: a face search and recognition on an image and comparing found face with faces stored in databases. In our work, we will dwell in more detail on the first part of the problem – face detection and recognition. In the meantime the most popular method used for searching the face area on an image is the Viola-Jones method [1, 2], which is popular because of its known high speed and efficiency. The essence of the method is widely known. It is based on an integral image representation, on the method of constructing classifiers based on adaptive boosting algorithm (AdaBoost) and on the combination classifiers in cascade structure method. The Viola-Jones method is firstly using cascades of wavelets (primitives) - Haar features, representing a breakdown of a given rectangular area into sets different types of rectangular subregions. All of the above made

it possible to build a face detector that works in real-time with a fairly high quality. However, there are a lot of disturbing factors, which are limiting the efficiency of such algorithm work. The major of them are spacial face position ambiguity on the analyzed image and poor quality of stage lighting.

The purpose of this work is creation of modified algorithms of face detection, which are providing automatic brightness stabilization of the analyzed image regardless of brightness level. A technique is proposed for assessing the effectiveness of their work in comparison with the classical algorithm.

Methods and tools for constructing new algorithms

Let's consider the methods for solving the task and the means involved.

Using tools. When creating algorithms, the authors used the Python programming language and OpenCV [3, 4] library resources. This choice is due to open access to the software products and their compatibility with operation systems, such as Windows, Linux and Android. In this approach, the work of algorithms is easily implemented on a single-board computer Raspberry Pi. The peculiarity of writing codes in Python is the formation of the necessary programming capabilities by connecting external libraries. To solve our task, the imported resources of the OpenCV [6] library are relatively small:

```
import cv2,
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.patches as mpatches.
```

The number of programming resources being used does not have a significant load on the processor and creates good prerequisites for processing data in real-time. For a significant increase in the speed with the processing of video data, all the basic procedures are implemented using standard OpenCV library functions, optimized by the library developers even at the stage of their creation.

Stabilizing the contrast of video data. Detection and registration of individuals faces using various video sensors usually occurs against a background of various types of interference with a constant dynamic change in the background of the observed scene. One of the dominant negative factors is variability of illumination. Note that this can be both rapidly changing lighting conditions, as well as its slow changes due to, for example, the onset of twilight. All this leads to poorly controlled variations in the contrast of the frames, and, consequently, to a deterioration in the quality of processing. Recall that the brightness values for video data is usually changing in the range of numbers $0 \div 255$. This corresponds to the uint8 data format. To overcome these difficulties (poorly controlled changes in the contrast of the frames depending on the illumination), the authors suggested the original video sequence from the RGB color space to be converted into the YUV space using the function

```
img_yuv = cv2.cvtColor
(img, cv2.COLOR_BGR2YUV).
```

The range of RGB values is $[0 \div 255]$ for each component, and for the YUV color space, the ranges

- $Y \rightarrow [0 \div 255]$;
- $U \rightarrow [-112 \div 112]$;
- $V \rightarrow [-157 \div 157]$.

A distinctive feature of the YUV color space [5] is that it uses an explicit separation of information on brightness and color. Color is represented as three components - brightness (Y) and two color difference (U and V).

After the RGB frame of the video sequence has been transferred to the YUV color space, an equalization procedure (enhancement of the contrast) of only the Y component with the function

```
img_yuv[:, :, 0] =
cv2.equalizeHist(img_yuv[:, :, 0]),
```

and then the frame is converted back from the YUV format to the RGB format

```
img_output = cv2.cvtColor
(img_yuv, cv2.COLOR_YUV2BGR).
```

In this case, the color balance remains unchanged, since the color difference components U and V were not transformed.

Note that the transition from the RGB color space to the YUV space makes it easy to estimate the average level of brightness of the frame by component Y. The most objective and stable indicator in our opinion is MB (Medium Brightness), which is calculated as

$$MB = \frac{1}{M \cdot N} \cdot \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M Y(i, j)$$

where $Y(i, j)$ is a two-dimensional array of numbers that determine the brightness of pixels of a $M \times N$ frame image. This indicator is all the more useful because at low levels of frame brightness in video surveillance systems for face recognition it is convenient to use the procedure of its comparison with a preset threshold for automatic switching on / off of the scene illumination system. However, the use of the indicator of average brightness MB causes significant difficulties. In the OpenCV library, there is no optimized function for calculating the normalized average brightness of images, and cyclic summation of pixel brightness indicators throughout the frame (especially large ones) too slows down the algorithms and does not allow processing in real-time. Therefore, in the proposed algorithm, this indicator is not used, and control of the level of illumination of the stage is carried out adaptively on the basis of other indicators, the work of which will be described below.

Thus, the use of the equalization procedure ensures alignment of the brightness distribution histogram and brings the average brightness indicator of the image to the value ($MB = 127$) regardless of how this indicator was for the original image. This makes it possible to stabilize the level of average brightness of the frames, and consequently, to simplify the adjustment of the devices' parameters for detecting faces and their main elements (eyes, nose, mouth). Such processing makes the algorithm more resistant to external factors. An example of usage the equalization procedure in the process of face and eyes detection is shown in Fig. 1.

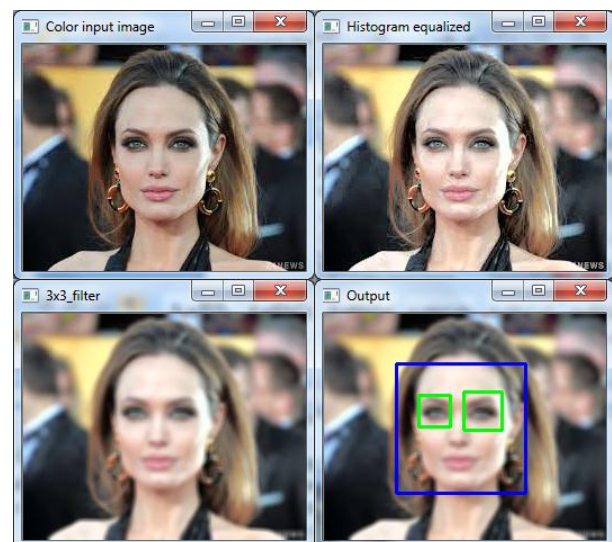


Fig. 1. Input image → histogram equalized → image after filtration → output image after recognition

Face detection and recognition based on the Viola-Jones method. As noted earlier, most modern recognition systems for searching and selecting faces are oriented to the use of the Viola-Jones method, which is based on the integrated representation of the image, the construction of classifiers based on the adaptive boosting algorithm, and the creation of classifiers in the form of a cascade structure. The most time-consuming process is learning the Haar cascades using the

AdaBoost machine learning algorithm. However, at the present time for Haar cascading classifiers there is a large number of already trained cascades, including the standard supply of the OpenCV library. Its installation package contains a whole set of ready-trained classifiers stored as files with an extension “.xml”. In this set there are classifiers, both for face searching, and for its separate parts (eyes, mouth, nose) searching.

When synthesizing recognition algorithms, the use of standard (pre-trained) classifiers is most productive. In this regard, we consider it appropriate to provide a list of the main pre-trained classifiers for reference:

- haarcascade_eye_tree_eyeglasses.xml;
- haarcascade_fullbody.xml;
- haarcascade_mcs_lefteye.xml;
- haarcascade_profileface.xml;
- haarcascade_eye.xml;
- haarcascade_lefteye_2splits.xml;
- haarcascade_mcs_mouth.xml;
- haarcascade_righteye_2splits.xml;
- haarcascade_frontalface_alt2.xml;
- haarcascade_lowerbody.xml;
- haarcascade_mcs_nose.xml;
- haarcascade_smile.xml;
- haarcascade_frontalface_alt_tree.xml;
- haarcascade_mcs_eyepair_big.xml;
- haarcascade_mcs_rightear.xml;
- haarcascade_upperbody.xml;
- haarcascade_frontalface_alt.xml;
- haarcascade_mcs_eyepair_small.xml;
- haarcascade_mcs_righteye.xml;
- haarcascade_frontalface_default.xml;
- haarcascade_mcs_leftear.xml;
- haarcascade_mcs_upperbody.xml.

Without dwelling in detail on the purpose and properties of individual classifiers, we note that special interest among them are those that allow us to determine the position of the eyes. This is a very useful procedure, since it enables evaluation of the distance between the pupils. This further analysis allows to eliminate factors associated with the inclination of the head. Classifiers trained in the search for the eyes are very sensitive to the presence of glasses. In most cases, they fail, especially for glasses that completely hide the eyes. In such cases, a more effective eye detection classifier should be used «haarcascade_eye_tree_eyeglasses.xml», trained to look at the image of the eyes with glasses. It can be used as a backup option in cases of failure in the normal classifier.

The most effective methods are searching for the main elements in the already selected area of the face, as this locates the search region and shortens the analysis time, and also significantly reduces the probability of false positives. Selecting areas of interest for eye, nose and mouth detection requires optimizing the position and size of the area of interest for each element. An example of such a partitioning of the selected area into search zones of individual face elements in our algorithm is shown in Fig. 2.

Dimensions of the search areas of our algorithm were determined experimentally, but if necessary, they can be further optimized. Note that there are two ways of detecting the eyes - highlighting the common area of interest for two eyes (or the search area) and searching

and detection of left and right eyes separately. In OpenCV, the appropriate classifiers are provided for this. Which of these methods is preferable, in our work will be determined experimentally.

The quality parameters of algorithms work and methods of their use. An objective criterion for the effectiveness of any algorithm for detecting faces and their elements in frames of a video sequence is the probability of correct face detection, provided it is present in the frame.

The procedure for detecting a face in the current frame using the appropriate cascading classifier, if successful, is completed by building a rectangle using the OpenCV function

```
cv2.rectangle(frame,(x,y)(x+w,y+h),
255,0,0),2).
```

Successful completion of face detection in the program code of the algorithm is necessary accompany the appearance of the event with a logical 1; otherwise, the appearance of a logical 0. In our work, in order to create a stable criterion for the quality of correct faces detection, the probability P_n , which is the result of the counting the number of successful detections in a sliding window with the size of 100 frames and normalized to the size of the window. At a standard video frame rate of 30/s, the window has a time constant of change P_n approximately equal to 3.3 s. The quality of the detector can be considered satisfactory for $P_n \geq 0,9$. According to the probability value of correct faces detection in the frame, it is easy to analyze the influence of various factors (including changes in illumination, geometric factors, etc.) on the quality of the faces detection and detection algorithms.

Similarly, the probability of correct detection of the eyes, nose, and mouth in the corresponding areas is calculated. These indicators are calculated as the conditional probability of such an event, provided that the entire face is correctly detected. With confidence that is acceptable for practical use, it is possible to consider events of individual elements of a face detection as an independent, and consequently, the probability of correctly detecting all elements is estimated as a product of these elements detection probabilities.

To adapt the algorithms for detecting faces proposed in our work to the conditions for changing the external illumination of the scene, it is suggested to organize two channels for processing video data (see the diagram in Fig. 3). In one of them, the original video stream is used directly for the detection of faces, and in the second channel, it is pre-equalized to bring the brightness of the frame to an average value. On the outputs of both processing channels in sliding windows with the size of 100 frames, the probabilities of the correct detection of faces and their elements are calculated, and then they are compared in the comparison block. Depending on the sign of the difference in probability ΔP_n with the help of the feedback loop, the results of detecting faces from the channel in which the lighting conditions are more comfortable for the operation of the face detection algorithm are transmitted to the system output.

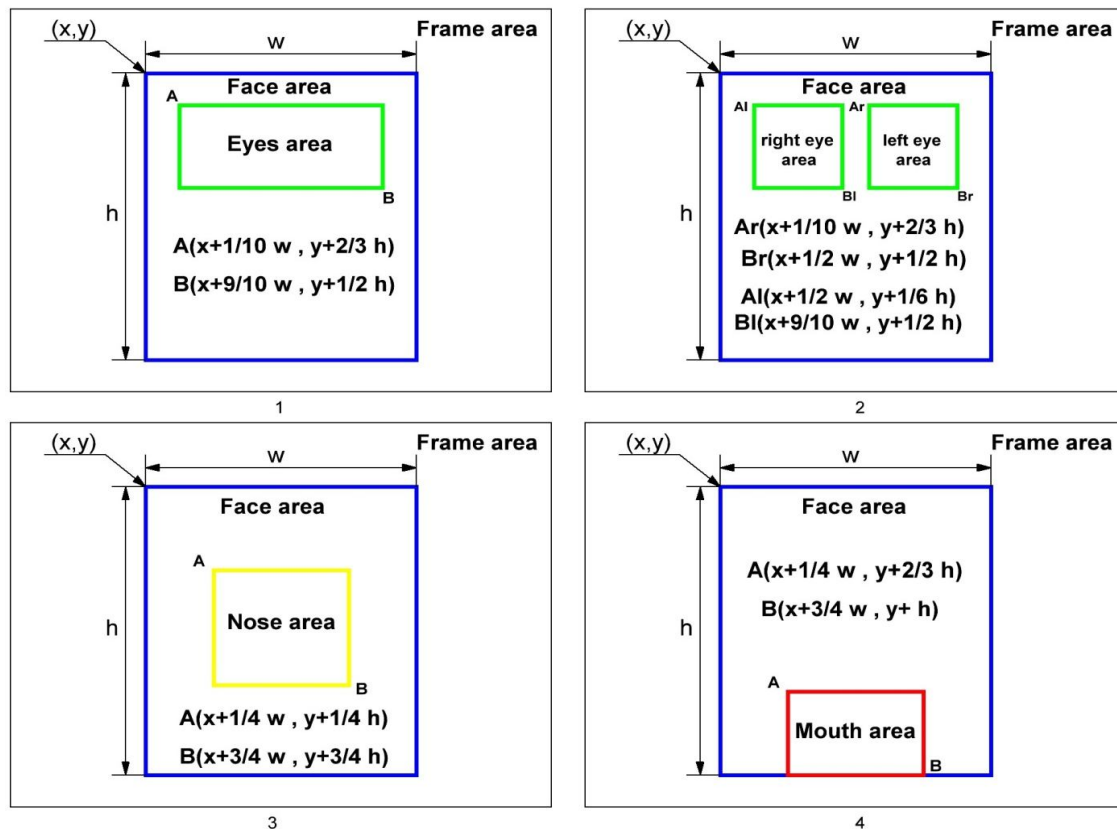


Fig. 2. Zones for searching faces and their elements in the frame (coordinates of individual search zones)

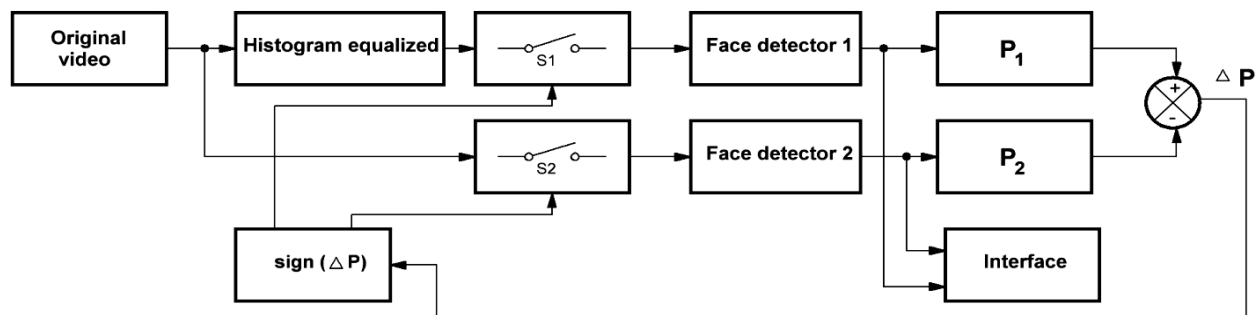


Fig. 3. Generalized structure of the adaptive algorithm for detecting faces

According to the authors, this method of adaptation to changes in scene illumination is much better than the method for estimating the average brightness of the MB frame, since its use does not impose significant restrictions on the processing speed of video data.

Practical implementation of algorithms

Working versions of the face detection algorithms were created taking into account the approaches and resources described above. The task was to find faces, eyes, nose and mouth. In this case, eye detection was carried out in two ways - using a classifier to detect the eyes in the general search area and the classifiers of separate detection (the right and left eyes separately). Next, compare the two methods in terms of the probability of eye detection.

To save resources and simplify the implementation of algorithms, our project used a set of pre-trained Haar cascading classifiers for the corresponding facial elements imported from the OpenCV library. It is worth

recalling the need to place these classifiers in the root folder of Python. This helps to avoid errors in finding ways to access them and speed up the processing of the original data. The set of these classifiers is the next:

- face_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_frontalface_default.xml')
- eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_eye.xml')
- right_eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_righteye_2splits.xml')
- left_eye_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_lefteye_2splits.xml')
- nose_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_nose.xml')
- mouth_cascade = cv2.CascadeClassifier('haarcascade_mouth.xml')

Since the methods and tools for creating algorithms have already been discussed in sufficient detail, we will dwell only on the structural features of constructing new algorithms.

Let's consider two different variants of constructing adaptive algorithms for detecting faces and their fragments on video sequences and assess the advantages and disadvantages of each of them. The structural diagrams of these algorithms are shown in Fig. 4, 5. In

the first version, the principle of adaptation to changes in the level of scene illumination is completely implemented, based on determining the values of the current difference in the probabilities of correct detection of faces and their elements when using the frame equalization procedure and without it (see Fig. 4). The main disadvantage of this method is a noticeable decrease in performance, since in this situation the amount of computational operations is actually doubled. The one shown in Fig. 5, the variant of constructing an adaptive

algorithm for searching faces in video frames is much simpler, since the procedure for equalizing video data is only used in those situations when, due to poor lighting conditions in the current frame, the face detection did not take place, despite its presence in the frame.

This approach is much more economical - the number of calculations is almost half that of the first version of the algorithm construction. This allows to confidently carry out processing of video data in real-time.

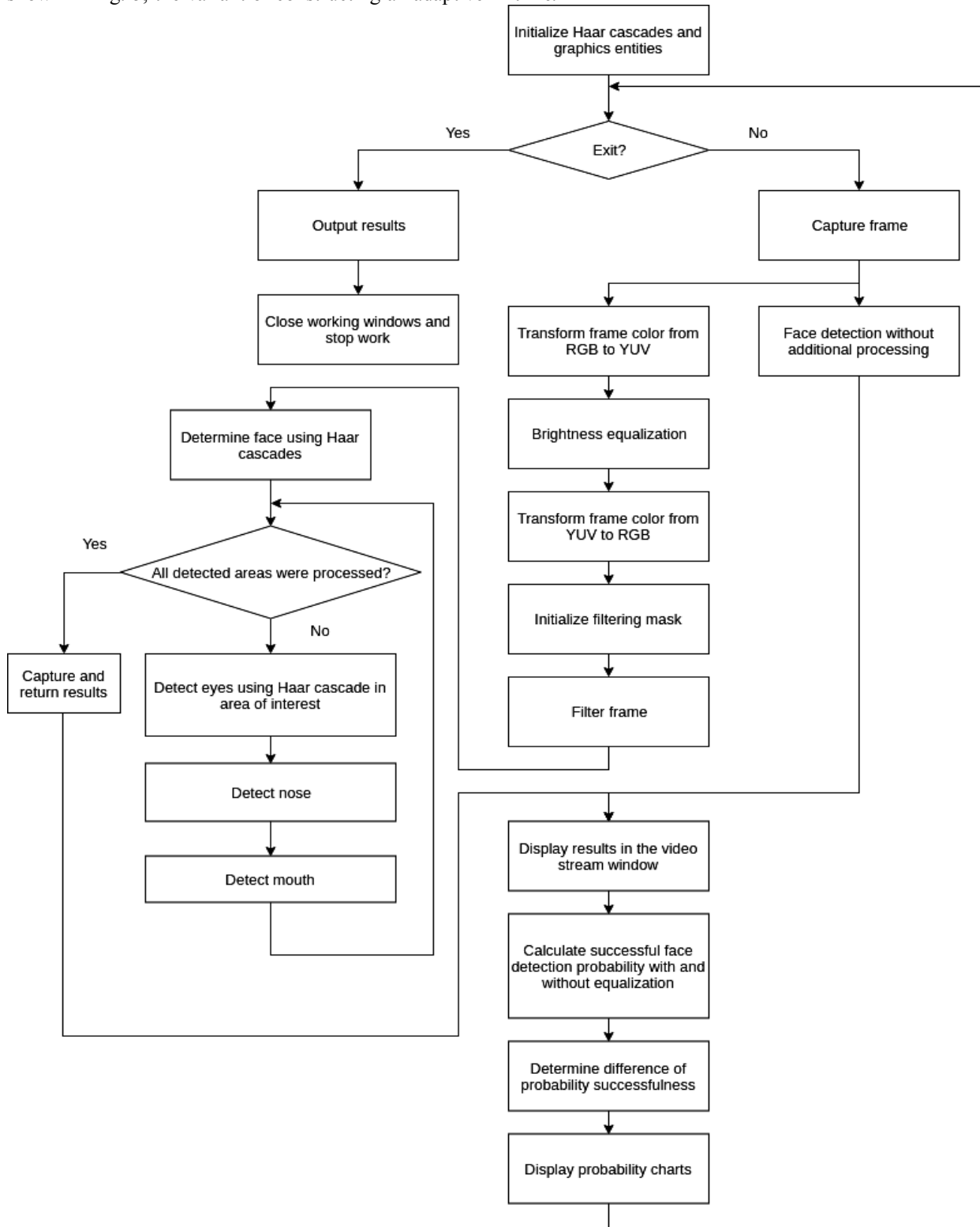


Fig. 4. Adaptation of the algorithm to lighting conditions according to the probability of correct detection of faces in the frame

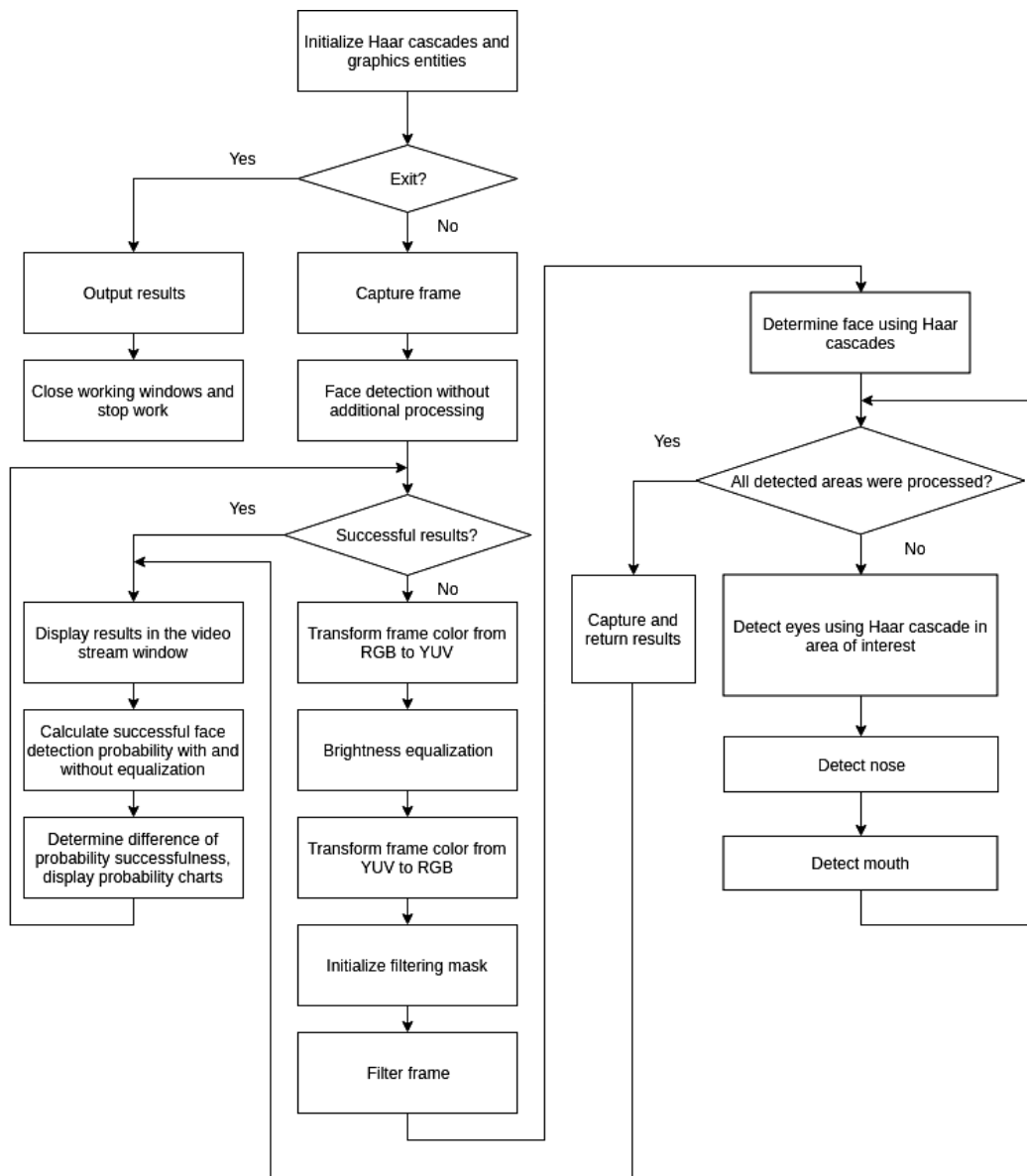
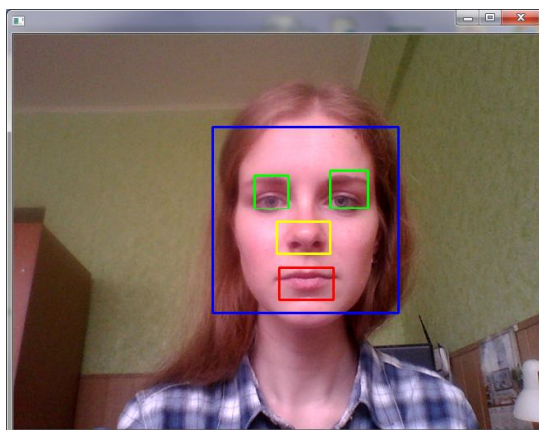


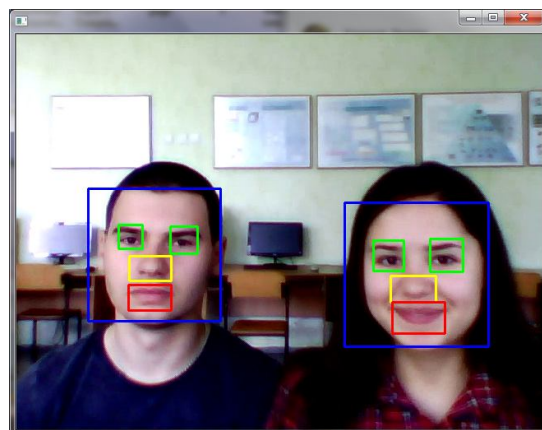
Fig. 5. A simplified version of the algorithm adaptation for detecting faces to lighting conditions

The results of detection of one or more persons using the proposed algorithms are shown in Fig. 6. It should be noted that the most stable results of the face and its elements detection are observed under the

condition of the frontal location of the light source of the scene. A favorable geometric factor of the detection procedure assumes the head inclinations are not more than 30° .



a

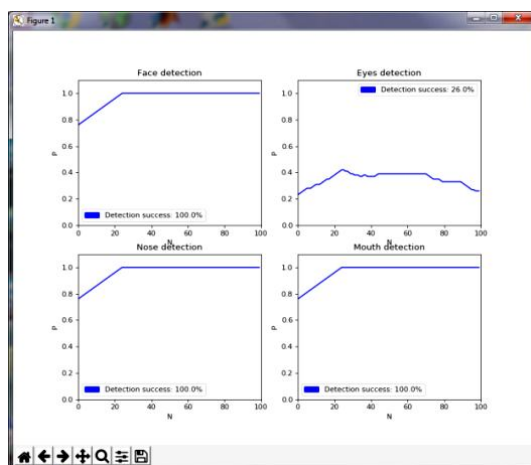


b

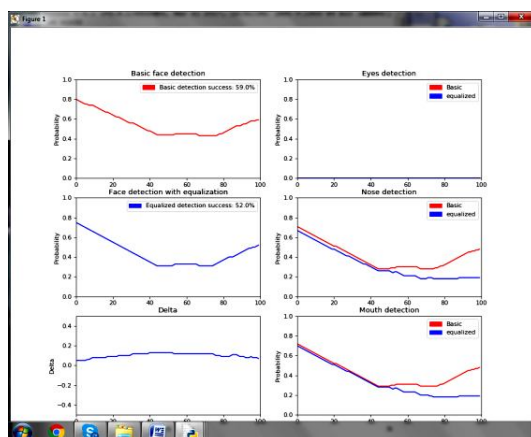
Fig. 6. Results of detection of faces and their elements in the frame

Results of experimental studies

Specific properties of algorithms for detecting faces based on the use of trained cascading classifiers determine the probabilistic nature of their functioning. Therefore, the main indicator of the quality of such algorithms in our work is considered to be the probability of a correct detection of the face and its elements. For clarity of the results obtained, in the first variant of the detection algorithm construction, a special graphic form was synthesized, inside of which, in individual windows, the probability of detecting faces during work without using the equalization procedure (red curves) and using it (blue curves) for the face and its elements (eyes, nose and mouth). In addition, in the lower left window of this form, the current difference in the probabilities of correct detection is displayed (when the video frame uses equalization and does not). The form of this generalized reporting form is clearly shown in Fig. 7, a. Similarly, a graphical form was constructed for the current estimation of detection efficiency and for the second algorithm. It contains four windows that display the current probabilities of correct detection of the face, eyes, nose and mouth (see Fig. 7, b). These means of visualization of current detection processes are quite effective, but they do not answer the main question - what is the efficiency of the algorithm in the long analysis of the video sequence?



a



b

Fig. 7. Windows of the current probability control of the correct detection of faces and their elements

For a generalized evaluation of the efficiency of algorithms, two methods are possible: qualitative (visual) and quantitative. In the first case, a visual observation is made of the multicolored rectangles that limit the detected face and its elements (eyes, nose and mouth). If the process of their drawing is perceived as continuous, then the quality of detection can be considered acceptable (equal to $\sim 100\%$). However, the inertia of the viewer's view at a high frame rate (30/s) does not allow visual perception of the missing frames for detecting individual frames. This can significantly distort the results of testing. Therefore, for quantitative evaluation of the effectiveness in the program, a one-dimensional array is formed for all frames of the video sequence (1 for the fact of detection of the face in the frame, and 0 for the case of missing the face), along which probabilistic characteristics of the algorithm's performance are constructed. However, one should keep in mind that for this, a reliable annotated test video sequence is needed. The simplest version of this sequence is the video sequence, which has a face for each detection in each frame, the lighting conditions (front light source) are met and the geometric factor is maintained (the head inclination is less than 30°). Of course, you can use a more complex test video, which at certain intervals of time, the faces in the frame are missing. Then it becomes possible to evaluate not only the probability of correct detection of persons, but also the probability of false detection (detection of a person, provided it is not in the frame).

There is a special form of a generalized evaluation of the effectiveness of the algorithm for detecting faces and their main elements for a video sequence of 1000 frames is shown in Fig. 8. The duration of such a recording is ~ 33 s. For the detection procedures of all elements, periodograms are constructed, where for each of the N frames, 1 (if detected successfully) is placed in correspondence and 0 (if not detected) of the corresponding face element. In addition, for each periodogram, the probability of correct detection on a sample of 1000 frames is calculated. This form allows us to obtain not only generalized estimates of the detection probabilities, but also clearly shows which frames the detection was not performed on.

To assess the effectiveness, a number of test video recordings that meet the specified requirements were made. Records were made in the format ".avi" with a frame size of 480x640 pixels from a fixed camera. Significant artifacts, due to human movement in the frame, were excluded. The distance from the face to the camera lens was ~ 1 m. To control the level of illumination of the scene, when recording test video recordings, was used a Yu-16 lux meter with a photocell F102, which allows to fix the level of illumination with accuracy $\pm 10\%$.

Since the proposed algorithms should automatically stabilize the brightness of the frames of the analyzed video sequence irrespective of the level of illumination, first of all the results of the detection of persons in records with different levels of illumination of the scene were compared. The results of this experiment are summarized in the Table 1. Analysis of tabular data

showed that the probability of correct detection of individual facial elements increases with increasing level of illumination, provided that data processing is performed without automatically adjusting the average brightness of the frame. In cases where the equalization procedure is used to adjust the brightness, the probability of detection remains stable. In other words, with a low

level of illumination, the efficiency of algorithms with automatic brightness adjustment is higher, and when the scene is brightly lit, the quality of work of both types of algorithms is approximately the same. It is necessary to note the high quality of the proposed algorithms, since similar modern technical solutions provide the probability of correct detection at the level of 95 - 97%.

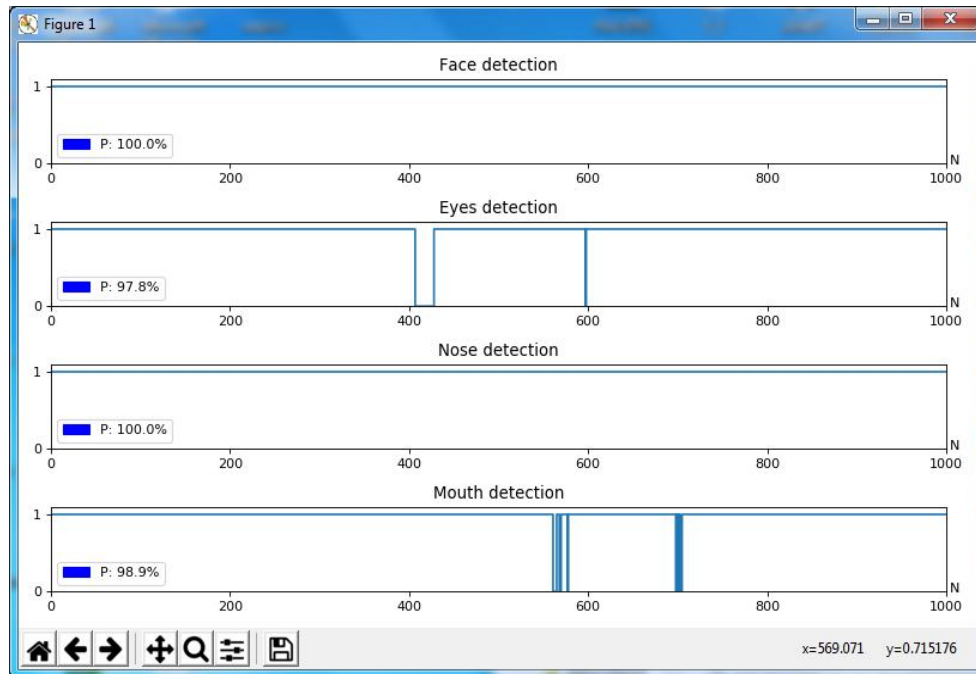


Fig. 8. Window for assessing the effectiveness of detection of a face and its main elements on video data

Table 1 – Performance indicators of the proposed algorithms

Scene illumination, Lx	Face detection, P %	Eyes detection, P %	Nose detection, P %	Mouth detection, P %
Without equalization				
100	100	96,5	98,1	97,2
150	100	97,2	98,5	97,5
200	100	97,8	98,7	97,7
With equalization				
100	100	97,1	98,6	97,4
150	100	97,2	98,6	97,45
200	100	97,1	98,62	97,4

In addition, a study was made of the efficiency of the algorithms, depending on the distance of the face to the digital video recorder.

The initial distance was 0.7 m, and the final distance was 2.5 m. The rest of the shooting conditions were similar to previous researches. Note that the face

detection procedure was insensitive to increasing the distance between the face and the video camera. But if this distance is increased by more than 1.5 m, this results in the interruption of the detection procedure for the facial elements (eye, nose and mouth). This limitation is related to the relative decrease in the size of the face in the frame, and can be eliminated by adaptively managing its dimensions.

Conclusion

New algorithms for detecting and detecting faces on digital images and video sequences are proposed. They implemented the ability to adaptively adjust the average brightness level of the frame, which allows to improve the basic performance. Probability of correct detection of faces for such algorithms is ~ 96%. They are implemented in Python programming language using OpenCV library resources.

This allowed real-time data processing. Using these results makes it possible to improve the quality of work and the reliability of results when recognizing faces in different systems.

REFERENCES

1. Viola, P. and Jones, M.J. (2001), "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", *IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition*, Kauai, Hawaii, USA, Vol. 1, pp. 511–518.
2. Viola, P. and Jones, M.J. (2001), "Robust real-time face detection", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 57, No. 2, pp. 137–154.
3. Joseph, Howse and Joe, Minichino (2015), *Learning OpenCV 3 Computer Vision with Python : Second Edition*, Packt Publishing, September, ISBN : 978-1-78528-977-4.

4. Saurabh, Kapur (2017), *Computer Vision with Python 3*, Packt Publishing, August 2017, ISBN: 978-1-78829-976-3.
5. Prateek, Joshi (2015), *OpenCV with Python By Example*, Packt Publishing, September 2015, ISBN: 978-1-78528-393-2.
6. Open Source Computer Vision, available at : <http://docs.opencv.org/trunk> (last accessed March 7, 2018).
7. Bovyryn, A., Druzhkov, P. and Erukhimov, V. (2016), Development of multimedia applications using libraries OpenCV and IPP, Intuit, Moscow, 382 p.
8. Comasch, F. Stuijk, S. Basten, T. and Corporaal H. (2013), "Rasw: A runtime adaptive sliding window to improve violajones object detection", *Distributed Smart Cameras (ICDSC)*, 2013 Seventh International Conference.

Received (Надійшла) 11.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Адаптивні алгоритми детектування обличчя і оцінка ефективності їх використання

К. Ю. Дергачов, Л. О. Краснов, О. О. Челядін, А. Я. Зимовін

Предмет дослідження - виявлення і розпізнавання осіб. **Метою цієї статті** є створення модифікованих алгоритмів розпізнавання осіб, які забезпечують автоматичну стабілізацію яскравості аналізованого зображення незалежно від рівня яскравості. Запропоновано методику оцінки ефективності їх роботи в порівнянні з класичним алгоритмом. **Методи дослідження.** Найпопулярніший метод, який використовується для пошуку області обличчя на зображенні, - це метод Віола-Джонса, який популярний завдяки своїй високій швидкості і ефективності. Він заснований на поданні цілісного зображення, на методі побудови класифікаторів на основі адаптивного алгоритму прискорення (AdaBoost) і на комбінаційних класифікаторах в каскадному структурному методі. Метод Віола-Джонс по-перше використовує каскади вейвлетів (примітивів) - функції Хаара, що представляють розбивку заданої прямокутної області на безлічі різних типів прямокутних субрегіонів. Все це дозволило створити детектор особи, який працює в режимі реального часу з досить високою якістю. Однак існує безліч тривожних факторів, які обмежують ефективність роботи такого алгоритму. Основними з них є двозначність просторового положення особи на уже згаданому зображенні і низька якість освітлення сцени. **Результати дослідження.** Запропоновано адаптивні алгоритми виявлення та детектування облич на цифрових зображеннях і відеопослідовностях в режимі реального часу, засновані на методі Віоли-Джонса. Для компенсації впливу змін рівня освітленості сцени на якість виявлення обличчя в класичну структуру алгоритму додатково введена процедура автоматичної стабілізації яскравості кадру. Описано структуру алгоритмів і розроблено програмне забезпечення для розпізнавання обличчя на мові Python з використанням ресурсів бібліотеки OpenCV. Обробка відеоданих здійснюється в реальному масштабі часу. Запропоновано і програмно реалізована оригінальна методика оцінки ефективності роботи алгоритмів за критерієм максимуму ймовірності правильного виявлення обличчя і їх головних елементів (очей, носа, рота). Зіставляються результати роботи класичного та запропонованих алгоритмів. Наводяться приклади роботи та результати тестування програмного забезпечення. **Висновок.** Використання отриманих результатів дозволяє поліпшити якість роботи і надійність результатів при розпізнаванні осіб в різних системах.

Ключові слова: виявлення і детектування обличчя; метод Віоли-Джонса; автоматична стабілізація яскравості кадру; ймовірність правильного виявлення осіб і їх головних елементів.

Адаптивные алгоритмы детектирования лиц и оценка эффективности их использования

К. Ю. Дергачев, Л. А. Краснов, А. А. Челядин, А. Я. Зимовин

Предмет исследования - обнаружение и распознавание лиц. **Целью этой статьи** является создание модифицированных алгоритмов распознавания лиц, которые обеспечивают автоматическую стабилизацию яркости анализируемого изображения независимо от уровня яркости. Предложена методика оценки эффективности их работы по сравнению с классическим алгоритмом. **Методы исследования.** Самый популярный метод, используемый для поиска области лица на изображении, - это метод Виола-Джонса, который популярен благодаря своей высокой скорости и эффективности. Он основан на представлении целостного изображения, на методе построения классификаторов на основе адаптивного алгоритма ускорения (AdaBoost) и на комбинационных классификаторах в каскадном структурном методе. Метод Виола-Джонса во-первых использует каскады вейвлетов (примитивов) - функции Хаара, представляющие разбивку заданной прямоугольной области на множества различных типов прямоугольных субрегионов. Все это позволило создать детектор лица, который работает в режиме реального времени с довольно высоким качеством. Однако существует множество тревожных факторов, которые ограничивают эффективность работы такого алгоритма. Основными из них являются двусмысленность пространственного положения лица на анализируемом изображении и низкое качество освещения сцены. **Результаты исследования.** Предложены адаптивные алгоритмы обнаружения и детектирования лиц на цифровых изображениях и видеопоследовательностях в режиме реального времени, основанный на методе Виола-Джонса. Для компенсации влияния изменений уровня освещенности сцены на качество обнаружения лиц в классическую структуру алгоритма дополнительно введена процедура автоматической стабилизации яркости кадра. Описана структура алгоритма и разработано программное обеспечение для распознавания лиц на языке Python с использованием ресурсов библиотеки OpenCV. Обработка видеоданных осуществляется в реальном масштабе времени. Предложена и программно реализована оригинальная методика оценки эффективности работы алгоритмов по критерию максимума вероятности правильного обнаружения лиц и их главных элементов (глаз, носа, рта). Сопоставляются результаты работы классического и предложенных алгоритмов. Приводятся примеры работы и результаты тестирования программного обеспечения. **Вывод.** Использование полученных результатов позволяет улучшить качество работы и надежность результатов при распознавании лиц в разных системах.

Ключевые слова: обнаружение и детектирование лица; метод Виола-Джонса; автоматическая стабилизация яркости кадра; вероятность правильного обнаружения лиц и их главных элементов.

E. Tolstoluzka, B. Parshentsev, O. Moroz

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

PARALLEL IMPLEMENTATION OF THE METHOD OF GRADIENT BOOSTING

The issue of machine learning has been paying more attention in all areas of information technology in recent times. On the one hand, this is due to the rapid growth of requirements for future specialists, and on the other - with the very rapid development of information technology and Internet communications. One of the main tasks of e-learning is the task of classification. For this type of task, the method of machine learning called gradient boost is very well suited. Gradient boosting is a family of powerful machine learning algorithms that have proven significant success in solving practical problems. These algorithms are very flexible and easily customized for the specific needs of the program, for example, they are studied in relation to different loss functions. The idea of boosting is the iterative process of sequential building of private models. Each new model learns based on information about errors made in the previous stage, and the resulting function is a linear combination of the whole ensemble of models, taking into account minimization of any penalty function. The mathematical apparatus of gradient boosting is well adapted for the solution of the classification problem. However, as the number of input data increases, the issue of reducing the construction time of the ensemble of decision trees becomes relevant. Using parallel computing systems and parallel programming technologies can produce positive results, but requires the development of new methods for constructing gradient boosting. The article reveals the main stages of the method of parallel construction of gradient boosting for solving the classification problem in e-learning. Unlike existing ones, the method allows to take into account the features of architecture and the organization of parallel processes in computing systems with shared and distributed memory. The method takes into account the possibility of evaluating the efficiency of building an ensemble of decision trees and parallel algorithms. Obtaining performance indicators for each iteration of the method helps to select the rational number of parallel processors in the computing system. This allows for a further reduction of the completion time of the gradient boosting. The simulation with the use of MPI parallel programming technology, the Python programming language for the architecture of the DM-MIMD system, confirms the reliability of the results. Here is an example of the organization of input data. Presented by Python is a program for constructing gradient boosting. The developed visualization of the obtained estimates of performance indicators allows the user to select the necessary configuration of the computing system.

Keywords: gradient boosting; parallel algorithm; decision tree; estimation of parallel algorithm efficiency; e-learning.

Statement of the problem

Recently there has been a rapid development of computing power and this development has significantly increased the ability to collect, process and analyze information. These opportunities are now used in a variety of subject areas, such as advertising, medicine and trade [1]. The section of science that deals with the research of algorithms for analyzing and forecasting data using information systems is called machine learning. Machine learning allows you to work with parameters that are not manually set, but appear in a semi-automatic mode thanks to the primary processing of data. One of the main tasks of data analysis in machine learning is the task of prediction and classification [2]. There are many algorithms for solving these problems, such as linear regression, support vector method, nearest neighbors' method, logistic regression, solving trees, neural networks, etc. Unfortunately, sometimes the data has complex or combined properties, in such cases, not one algorithm or model is used, but a set of models combined into a composition (ensemble of models). Then the result is determined in the form of aggregation of the results obtained, for example, in the form of a linear combination [3]. The first papers devoted to the study of this problem of weak and strong learning algorithms were carried out in the 80's. Weak learning algorithm means that in a polynomial time it is possible to build an algorithm of recognition, the accuracy of which will be at least slightly more than 50%. By strong learning ability it is meant that it is possible to construct an algorithm in polynomial time, which could give arbitrarily accurate

results. Studies have shown that strong training is equivalent to a weak one, since a weak model can be strengthened by constructing the correct composition [2]. In 1996, based on these studies, the Ada Boost algorithm was developed. This algorithm quickly gained popularity due to its simplicity and efficiency. The continuation and generalization of the Ada Boost algorithm is a gradient boosting which is one of the most popular ensemble methods. Successful application of ensemble methods is conditioned by the variety of basic models, on the basis of which the final model is built. Boosting began to be actively used in the tasks of ranking the issuance of search engines. This task was discharged from the point of view of the function, which is penalized for errors in the order of issuance, so it became convenient to simply insert it into gradient boosting realization [2].

One of the first to implement the AltaVista ranking, and soon followed by Yahoo, Yandex, Bing and others. Gradient boosting is not a specific algorithm, but a general methodology, how to build model ensembles. Moreover, the methodology is quite flexible and extensible: it is possible to train a large number of models, considering the various loss functions, and at the same time to attach various weight functions to them [1]. The article presents the main stages of constructing a model using parallel gradient boosting and decision trees for solving the classification problem.

Objectives of the article. The aim of the article is to describe the main steps of the gradient-boosting method for e-learning tasks using the parallel construction of the tree in the interest of creating information technology for solving classification problems.

Research and Results

We introduce some definitions and concepts.

Gradient boosting is a method of machine learning for regression and classification problems that creates a forecasting model in the form of an ensemble of weak prediction models, usually decision trees. He builds the model step-by-step, like other enhancement methods, and generalizes them, allowing to optimize an arbitrary differentiable loss function. In Fig. 1 shows an example of the Python gradient program boosting.

```
for i in range(30):
    tree = DecisionTree(xi,yi)
    tree.find_better_split(0)
    r = np.where(xi == tree.split)[0][0]
    left_idx = np.where(xi <= tree.split)[0]
    right_idx = np.where(xi > tree.split)[0]
    predi = np.zeros(n)
    np.put(predi, left_idx, np.repeat(np.mean(yi[left_idx]), r))
    np.put(predi, right_idx,
np.repeat(np.mean(yi[right_idx]), n-r))

    predi = predi[:,None]
    predf = predf + predi
    ei = y - predf
    yi = ei

    # plotting after prediction
    xa = np.array(x.x) # column name of x is x
    order = np.argsort(xa)
    xs = np.array(xa)[order]
    ys = np.array(predf)[order]
    #epreds = np.array(epred[:,None])[order]
    f, (ax1, ax2) = plt.subplots(1, 2, sharey=True, figsize
= (13,2.5))
    ax1.plot(x,y, 'o')
    ax1.plot(xs, ys, 'r')
    ax1.set_title(f'Prediction (Iteration {i+1})')
    ax1.set_xlabel('x')
    ax1.set_ylabel('y / y_pred')

    ax2.plot(x, ei, 'go')
    ax2.set_title(f'Residuals vs. x (Iteration {i+1})')
    ax2.set_xlabel('x')
    ax2.set_ylabel('Residuals')
```

Fig. 1. Python gradient program boosting

Busting is a meta-algorithm of machine learning of the ensemble, which primarily reduces bias, as well as variance in controlled learning and a family of machine learning algorithms that turn weak students into strong ones [6].

Decision trees are a way of presenting rules in a hierarchical, consistent structure [1]. In Fig. 2 showed an example of the temporary parallel model of boosting decision trees.

Loss functions - In mathematical optimization, statistics, econometrics, decision theory, machine learning and computational neuroscience, a loss function or cost function is a function that maps an event or values of one or more variables onto a real number intuitively representing some "cost" associated with the event [6].

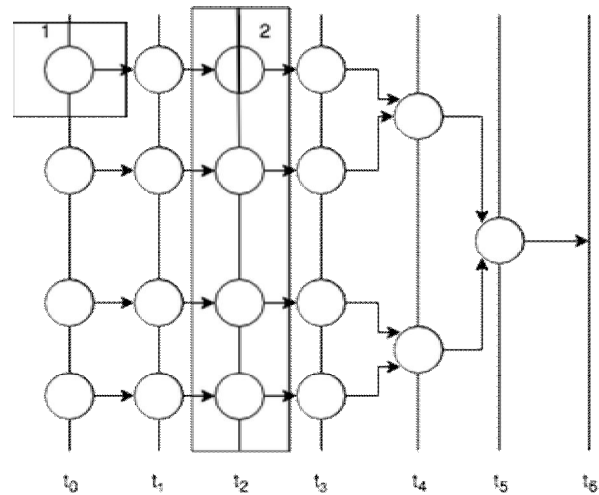


Fig. 2. Temporary parallel model of boosting decision trees

Ginny index - A statistical indicator by which one can describe the nature of the change of one magnitude relative to the change in the other [1].

The main stages of the construction of the method are shown in Fig. 3.

Input data:

- Decision trees built using a parallel method.;
- Architecture Classes (VLIW - GPU, AMD/ATI Radeonv (HD5770), RISC - ARM ThunderX, CISC - IBM System z10);
- decision time T_s task;
- architecture characteristics: the number of NM processors.
- Parallelization (CUDA, Open MP API-interface, MPI)[2]

Output data:

A subset of the original data distributed in accordance with the classes. Estimates of performance indicators: acceleration, accuracy, time building a model, the complexity of the program. Consider the appointment and formalized description of the main stages of modeling [1].

Stage 1 (symbol 2, Fig. 3) choice of the architecture of the computer system, depending on the requirements of the customer.

Step 2 (symbols 3,4,5,6, Fig. 3) - provides a kind of decomposition depending on the chosen architecture.

Step 3 (symbol 7, Fig. 3) - provides a choice of technology for parallel construction of the algorithm of gradient boosting.

Step 4 (symbol 9, Fig. 3) - building a decision tree on each node (Fig. 3.4)

Stage 4 (symbol 8, Fig. 3) - the construction of an ensemble of trees in one process.

Step 5 (symbol 10, Fig. 3) forwarding all an-tree-trees to a single process. The parallelism of the algorithm for constructing gradient boosting becomes possible only with the method of constructing the calculation process, based on the use of the associativity of the addition operation to calculate the loss factor.

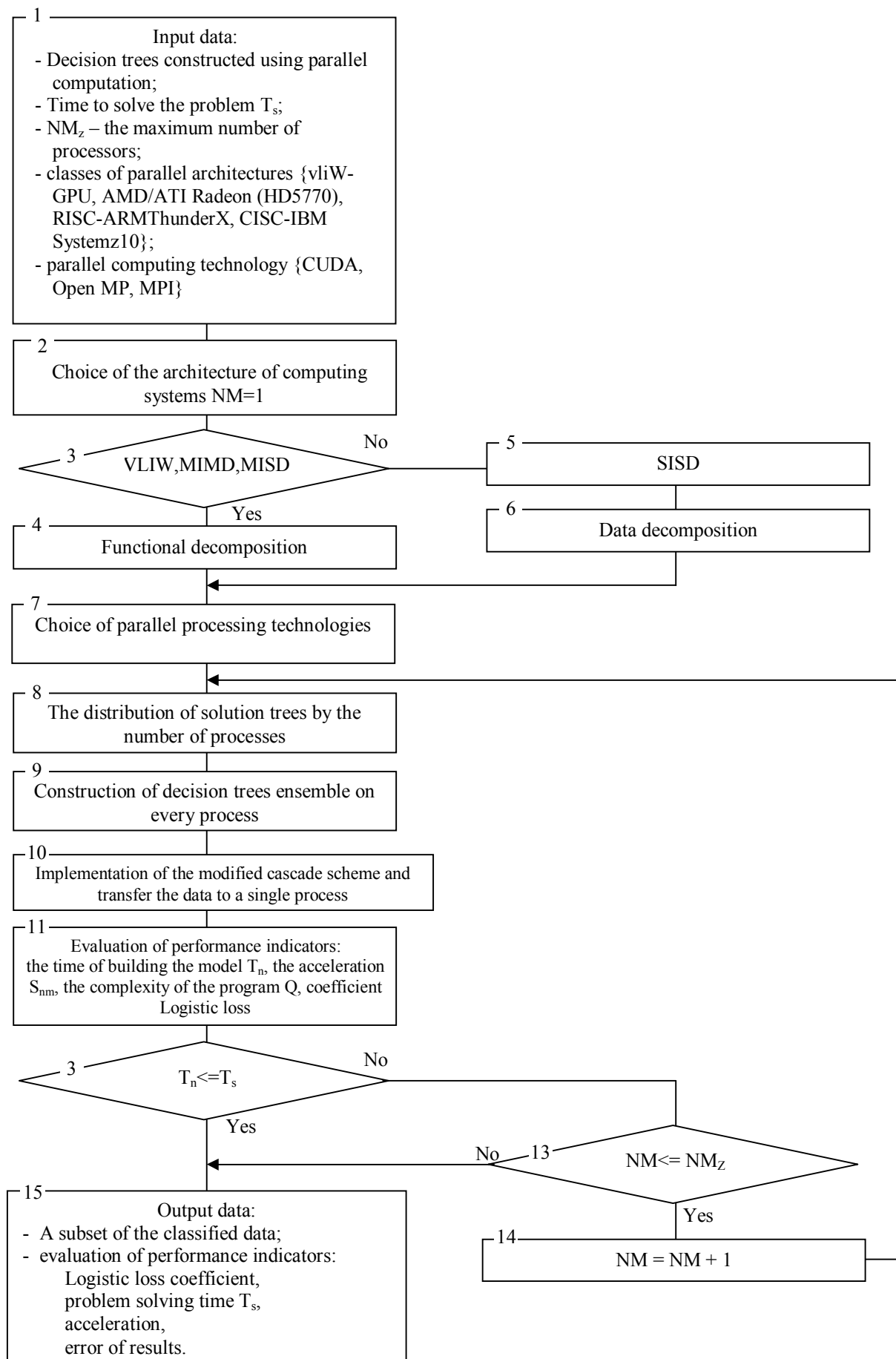


Fig. 3. The main stages of the method of parallel gradient boosting

This stage is divided into several iterations. sum able values are divided into $(n/\log_2 n)$ groups, each of which contains $\log_2 n$ elements;

Next, for each group, the sum of the values is calculated using a sequential summation algorithm; calculations in each group can be carried out independently of each other (ie, parallel – for this, there must be at least $(n/\log_2 n)$ processors); further for $(n/\log_2 n)$ the sum of individual groups is applied cascade scheme. In this scheme, there are two stages in the first stage of the cascade scheme, all the initial data is divided into pairs and for each pair the sum of the values is calculated, then all the

resulting sums of pairs are also divided into pairs and again the summation of the values of the pairs, [5]. This approach is the implementation of a modified cascade scheme (Fig. 4).

The results of using parallelism in the construction of gradient boosting can be commented as follows.

The best acceleration gain is achieved by using 8 processes. Using the parallel gradient boosting algorithm allows you to speed up the retrieval of results by 14 times, but the process of writing a program becomes more complicated, and adding parallelism increases the probability of the need to change the classifier (improving the detail) otherwise the function of the classifier logistic loss.

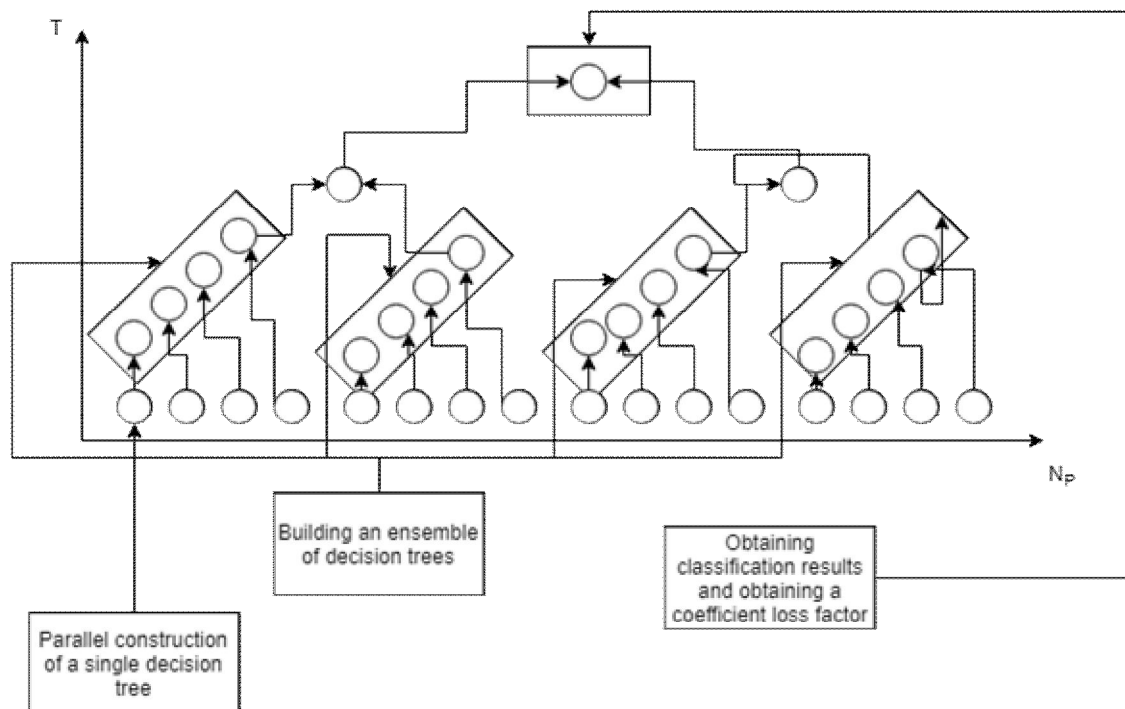


Fig. 4. The scheme of parallel gradient boosting

Level of confidence in parallel execution 72.24% when using one stream confidence level 68.1%.

Conclusions

1. The main stages of constructing gradient boosting using a parallel construction of the decision

tree are considered for e-learning tasks in the interests of creating information technology for solving classification problems.

2. Parallelism of the gradient algorithm

It becomes possible only when construction of the process of calculations, based on the use of associatively of the operation of addition.

REFERENCES

1. Tolstoluzka, O. and Parshencev, B. (2018), "The solution of the classification problem in e-learning based on the method parallel construction of decision trees", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 5–9.
2. Hastie, T., Tibshirani, R. and Friedman, J. (2001), "Linear Methods for Classification", *The Elements of Statistical Learning*, ser. Springer series in statistics, Springer, New York, pp. 101–137.
3. Vapnik, V. (1998), *The Nature of Statistical Learning Theory*, John Wiley and Sons, N.Y., 300 p.
4. Gergel, V.P. (2007), *Theory and Practice of Parallel Computing*, Bean, Moscow, 71 p.
5. Voevodin, V.V. and Voevodin, V.I. (2002), *Parallel Computations*, BHV-Petersburg, St. Petersburg, 608 p.
6. Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.T. (1984), *Classification and Regression Trees*, Wadsworth, Belmont, California, 332 p.
7. Gehrke, J., Ganti, V., Ramakrishnan R. and Wei-Yin Loh (1999), "BOAT — optimistic decision tree construction", *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp. 169–180.

8. Polyakov, G.A., Shmatkov, S.I., Tolstoluzhskaya, E.G. and Tolstoluzhsky, D.A. (2012), *Synthesis and analysis of parallel processes in adaptive time-parametric computing systems*, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, pp. 434-575.

Received (Надійшла) 29.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 25.07.2018

Паралельна реалізація методу градієнтного бустінгу

О. Г. Толстолузька, Б. В. Паршенцев, О. Ю. Мороз

Останнім часом питанню машинного навчання приділяється все більше уваги у всіх галузях інформаційних технологій. З одного боку це пов'язано зі стрімким ростом вимог до майбутніх фахівців, а з іншого - з дуже швидким розвитком інформаційних технологій та Інтернет комунікацій. Однією з головних задач e-learning є задача класифікації. Для даного типу задач дуже добре підходить метод машинного навчання під назвою градієнтний бустінг. Градієнтний бустінг це сімейство потужних алгоритмів машинного навчання, які продемонстрували значний успіх у вирішенні практичних завдань. Дані алгоритми є дуже гнучкими і легко налаштованими для конкретних потреб програми, наприклад, вивчаються по відношенню до різних функцій втрат. Ідея бустінга полягає в ітеративному процесі послідовного побудови приватних моделей. Кожна нова модель навчається ґрунтуючись на інформації про помилки, зроблених на попередньому етапі, а результуюча функція являє собою лінійну комбінацію всього ансамблю моделей з урахуванням мінімізації будь-якої штрафної функції. Математичний апарат градієнтного бустінгу гарно пристосовується для рішення задачі класифікації. Однак, з ростом кількості вхідних даних стає актуальним питання зменшення часу побудови ансамблю дерев рішень. Використання паралельних обчислювальних систем та паралельних технологій програмування дозволяє отримати позитивні результати, але вимагає розробки нових методів побудови градієнтного бустінгу. У статті розкриваються основні етапи методу паралельної побудови градієнтного бустінгу для вирішення задачі класифікації в e-learning. На відміну від існуючих, метод дозволяє враховувати особливості архітектури і організації паралельних процесів в обчислювальних системах із загальною і розподіленою пам'яттю. В методі врахована можливість оцінки показників ефективності побудови ансамблю дерев рішень та паралельних алгоритмів. Отримання показників ефективності на кожній ітерації методу допомагає обрати раціональну кількість паралельних процесорів в обчислювальній системі. Це дозволяє домогтися подальшого скорочення часу завершення градієнтного бустінга. Проведене моделювання з використанням технології паралельного програмування MPI, мови програмування Python для архітектури обчислювальної системи DM-MIMD підтверджує достовірність отриманих результатів. Наводиться приклад організації вхідних даних. Представлено Python програму для побудови градієнтного бустінга. Розроблена візуалізація отриманих оцінок показників ефективності дозволяє користувачу обрати необхідну конфігурацію обчислювальної системи.

Ключові слова: градієнтне підсилення; паралельний алгоритм; дерево рішень; оцінка ефективності паралельного алгоритму; електронне навчання.

Параллельная реализация метода градиентного бустинга.

Е. Г. Толстолужская, Б. В. Паршенцев, О. Ю. Мороз

В последнее время вопросу машинного обучения уделяется все больше внимания во всех областях информационных технологий. С одной стороны это связано со стремительным ростом требований к будущим специалистам, а с другой - с очень быстрым развитием информационных технологий и Интернет коммуникаций. Одной из главных задач e-learning является задача классификации. Для данного типа задач очень хорошо подходит метод машинного обучения под названием градиент бустинг. Градиент бустинг это семейство мощных алгоритмов машинного обучения, которые продемонстрировали значительный успех в решении практических задач. Данные алгоритмы являются очень гибкими и легко настраиваемым для конкретных нужд программы, например, изучаются по отношению к различным функциям потерь. Идея бустинга заключается в итеративном процессе последовательного построения частных моделей. Каждая новая модель учится основываясь на информации об ошибках, сделанных на предыдущем этапе, а результирующая функция представляет собой линейную комбинацию всего ансамбля моделей с учетом минимизации любой штрафной функции. Математический аппарат градиентного бустинга хорошо приспособляемый для решения задачи классификации. Однако, с ростом количества входных данных становится актуальным вопрос уменьшения времени построения ансамбля деревьев решений. Использование параллельных вычислительных систем и параллельных технологий программирования позволяет получить положительные результаты, но требует разработки новых методов построения градиентного бустинга. В статье раскрываются основные этапы метода параллельной построения градиентного бустинга для решения задачи классификации в e-learning. В отличие от существующих, метод позволяет учитывать особенности архитектуры и организации параллельных процессов в вычислительных системах с общей и распределенной памятью. В методе учтена возможность оценки показателей эффективности построения ансамбля деревьев решений и параллельных алгоритмов. Получение показателей эффективности на каждой итерации метода помогает выбрать рациональное количество параллельных процессоров в вычислительной системе. Это позволяет добиться дальнейшего сокращения времени завершения градиентного бустинга. Проведено моделирование с использованием технологии параллельного программирования MPI, языки программирования Python для архитектуры вычислительной системы DM-MIMD подтверждает достоверность полученных результатов. Приводится пример организации входных данных. Представлены Python программу для построения градиентного бустинга. Разработанная визуализация полученных оценок показателей эффективности позволяет пользователю выбрать необходимую конфигурацию вычислительной системы.

Ключевые слова: повышение градиента; параллельный алгоритм; дерево решений; оценка эффективности параллельного алгоритма; электронное обучение.

Information systems modeling

УДК 681.5

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.04

В. И. Барсов, Е. Ю. Костерная

Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ВСЕНАПРАВЛЕННЫМИ КОЛЕСАМИ

Предметом изучения в статье является процесс перемещения мобильной платформы с всенаправленными колесами. **Цель** – разработать компьютерную модель, описывающую движение мобильной платформы с всенаправленными колесами. **Задача**: на основе разработанной модели выполнить компьютерное моделирование голономного движения трёхколёсной платформы в среде Matlab Simulink. Используемыми **методами** являются: системный анализ, численные методы, методы математического и компьютерного моделирования. Получены следующие **результаты**. Рассмотрены возможные варианты перемещения мобильной платформы в условиях ограниченного пространства, при наличии препятствий. Выполнено компьютерное моделирование, описывающее голономное движение мобильной платформы с всенаправленными колесами и в среде Matlab Simulink. **Выводы**. Предложенная компьютерная модель голономного движения трёхколёсной платформы позволяет проследить динамику изменения линейных и угловой скоростей платформы при изменении исходных параметров. Анализ полученных результатов показывает нестабильность изменения линейных скоростей по осям x и y . Характер изменения угловых скоростей и угла поворота платформы прямо пропорционально зависит от расстояния между центром платформы и центром колеса, а линейные скорости – от массы платформы. Полученные результаты могут быть использованы при проведении дальнейших исследований процесса управления голономным движением мобильной платформы с всенаправленными колесами в условиях ограниченного пространства, при наличии препятствий, и моделировании процессов, связанных с ее перемещением.

Ключевые слова: всенаправленное колесо; мобильная платформа; кинематическая модель; голономное движение.

Введение

К научно-техническим задачам, привлекающим внимание специалистов в рассматриваемой области относятся задачи, связанные с исследованием вопросов, позволяющих обеспечить эффективное управление маневренностью мобильных платформ в условиях ограниченного пространства, при наличии всевозможных препятствий, за счет способности всенаправленного перемещения без разворота [1–3].

Мобильные платформы с всенаправленными колесами (МПВК) имеют ряд специфических особенностей:

- мобильная платформа может в любой момент времени изменить траекторию своего движения на произвольный угол без выполнения разворота [1];
- возможность сочетания поступательного движения с вращательным, что позволяет платформе подъезжать к месту назначения под определенным углом [2].

Основным элементом исследуемой мобильной платформы является всенаправленное колесо, представляющее собой диск с роликами, установленными по окружности под углом 90° (рис.1, а) или 45° (рис.1, б) к направлению вращения. Ролики всенаправленного колеса расположены так, что их оси вращения являются касательными к окружности колеса, таким образом движение колеса является результирующим двух движений – движения по вращению диска и движения по вращению пассивного ролика. Конструкция таких колес позволяет им вращаться на месте при минимальной силе трения и низком вращательном моменте [4].



Рис. 1. Разновидности всенаправленных колес

Выбор размера и диаметра колес зависит от ожидаемой скорости МПВК, веса и др. параметров. Также следует отметить, что, реализуя голономное движение платформы, каждое всенаправленное колесо имеет три степени свободы: вращение вокруг колесной оси; вокруг осей роликов и вокруг точки соприкосновения (рис. 2).

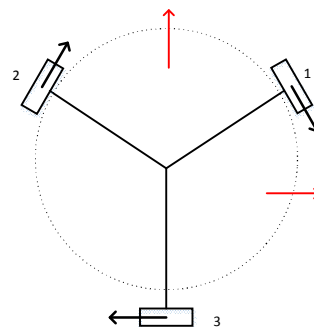


Рис. 2. Голономное движение мобильной платформы с всенаправленными колесами

Голономное движение – это движение, при котором у движущегося тела нет ограничений по направлению вектора скорости, а объекты, обладающие таким способом движения, могут перемещаться в любую точку по оси абсцисс (x) и оси ординат (y) [5].

В ряде работ, посвященных исследованию мобильных колесных платформ, используемых, например, при создании роботов, рассматриваются, в частности, преимущества различных видов конструкций мобильных колесных платформ, их кинематические модели, количество и тип используемых колес [4, 5]. Однако при этом, на наш взгляд, представление МПВС основывается на не совсем полном представлении её математической модели,

что может способствовать появлению неточностей при исследовании динамики мобильной платформы, с целью достижения более эффективного управления платформой в условиях ограниченного пространства.

Как было указано выше, платформа может осуществлять голономное движение в условиях ограниченного пространства (рис. 2). Авторы работ по данной тематике обычно ограничиваются рассмотрением нескольких основных вариантов управления колесами МПВК. Однако возможны и другие варианты перемещения мобильной платформы, которые могут быть использованы при объезде всевозможных препятствий без ее разворота, например, представленные на рис. 3.

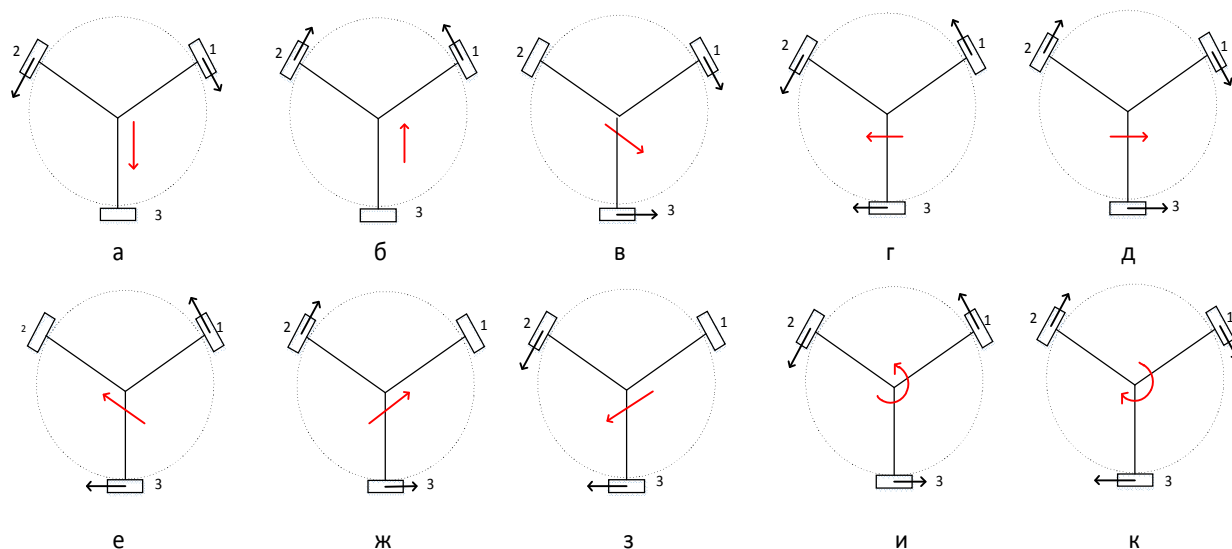


Рис. 3. Направления движения мобильной платформы с всенаправленными колесами

Основные результаты

Объектом исследования в данной работе является трехколесная мобильная платформа с всенаправленными колесами. Колеса исследуемой платформы расположены под углом 120 градусов, оси которых проходят через центр транспортного средства. Для выполнения определенного движения МПВК необходимо управлять скоростью вращения каждого исполнительного привода.

Для оптимизации работы приводов мобильной платформы нужно учитывать следующие особенности:

- для заданного движения МПВК необходимо выдерживать определенное соотношение угловых скоростей приводов, при этом для увеличения общей скорости требуется прямо пропорционально увеличивать угловые скорости приводов;
- для всенаправленного колеса, которое вращается с определенной скоростью, следует добавлять или вычитать поровну скорости каждого привода;
- исполнительные приводы мобильной платформы ограничены физическими свойствами обмоток ротора, поэтому при формировании управляющего воздействия необходимо убедиться, что они не работают на пределе своей мощности.

На рис. 4 показано векторное описание перемещения одного колеса, которое непосредственно управляется двигателем, приняты обозначения:

XOY – система координат мобильной платформы;

V_i – необходимая скорость i -го колеса;

v_i – скорость пассивного движения колеса;

V_x – желаемая поступательная скорость центра масс колеса по оси x ;

V_y – желаемая поступательная скорость центра масс колеса по оси y ;

r – радиус колеса.

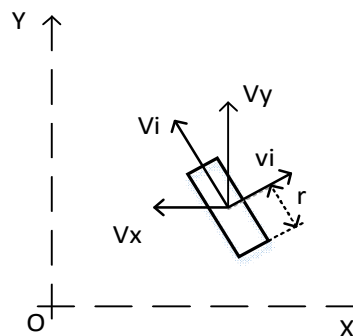


Рис. 4. Векторное описание перемещения всенаправленного колеса

Скорость каждого из трех колес будет равна угловой скорости колеса, умноженной на его радиус, определяется по формуле:

$$V_{i(1,2,3)} = w \cdot r, \quad (1)$$

где r – радиус всенаправленного колеса (см);
 w – угловая скорость всенаправленного колеса (рад/с).

Уравнения поступательного ускорения центра масс (2), который расположен в геометрическом центре платформы, и углового ускорения (3) платформы имеют вид:

$$V = \frac{1}{m}(V_1 + V_2 + V_3), \quad (2)$$

$$\omega_z = \frac{1}{JR}(V_1 + V_2 + V_3), \quad (3)$$

где m – масса платформы, кг;

R – расстояние от центра колеса до центра платформы, см;

J – момент инерции платформы [7].

Таким образом, схематическая модель трехколесной мобильной платформы с всенаправленными колесами с указанными векторами действующих сил имеет вид, представленный на рис. 5.

Соответственно, используя рис. 5, после разложения соответствующих параметров на оси x и y , можно получить кинематические уравнения системы движения (4) – (6).

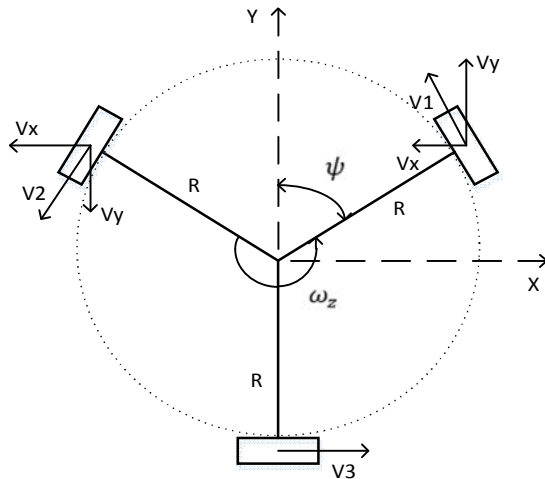


Рис. 5. Кинематическое представление мобильной платформы с всенаправленными колесами

Уравнения, описывающие поступательное движение, используемые в системе управления платформой, можно представить следующим образом:

$$V_x = \frac{1}{m}(V_3 - V_1 \cdot \cos(\psi) - V_2 \cdot \cos(\psi)); \quad (4)$$

$$V_y = \frac{1}{m}(V_1 \cdot \sin(\psi) - V_2 \cdot \sin(\psi)), \quad (5)$$

где ψ – угол ориентации мобильной платформы (угол между осью i -го колеса и осью y);

V_x – желаемая поступательная скорость центра масс колеса по оси x ;

V_y – желаемая поступательная скорость центра масс колеса по оси y .

Уравнение, описывающее вращательное движение, используемое в системе управления платформой, имеют следующий вид:

$$\omega_z = \frac{V_1}{JR} + \frac{V_2}{JR} + \frac{V_3}{JR}, \quad (6)$$

где ω_z – угловая скорость мобильной платформы (рад/с).

Уравнения (4) – (6) можно записать в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \begin{bmatrix} -\cos(\psi) & -\cos(\psi) & 1 \\ \sin(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \frac{1}{JR} & \frac{1}{JR} & \frac{1}{JR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Поскольку колеса расположены симметрично относительно друг от друга (120°), то $\psi = 60^\circ$.

Поэтому уравнение (7) можно упростить:

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & 1 \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 0 \\ \frac{1}{JR} & \frac{1}{JR} & \frac{1}{JR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для определения скорости и ориентации платформы в любой точке следует использовать следующие уравнения:

$$V_R = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}; \quad (9)$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{V_x}{V_y}\right). \quad (10)$$

Если задавать угловую скорость вращения колес не одинаковой, то, исходя из формулы (7), поступательное движение будет сопровождаться вращением платформы [7, 8].

Компьютерное моделирование

Для рассматриваемой математической модели, описываемой выражениями (4) – (6), была разработана компьютерная модель и проведено соответствующее моделирование в среде Matlab Simulink (рис. 6) для различных исходных данных, заданных в табл. 1, таких как:

расстояние от центра колеса до центра платформы R (см);

масса мобильной платформы m (кг);

линейные скорости колес мобильной платформы V_i (м/с).

Результаты моделирования для различных исходных данных, заданных в табл. 1, представ-

лены на рис. 7-12 следующими графиками изменений:

линейной скорости V_x (а);

угла поворота платформы θ (б);

угловой скорости ω (в);

линейной скорости V_y (г).

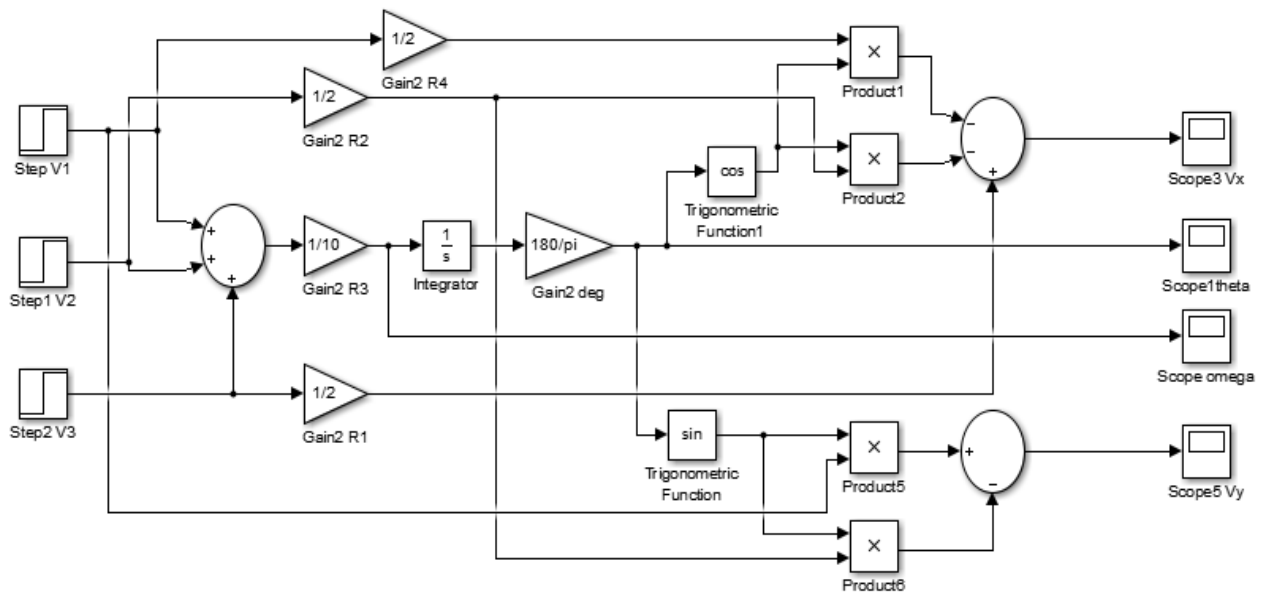


Рис. 6. Моделирование МПВК в среде Matlab Simulink

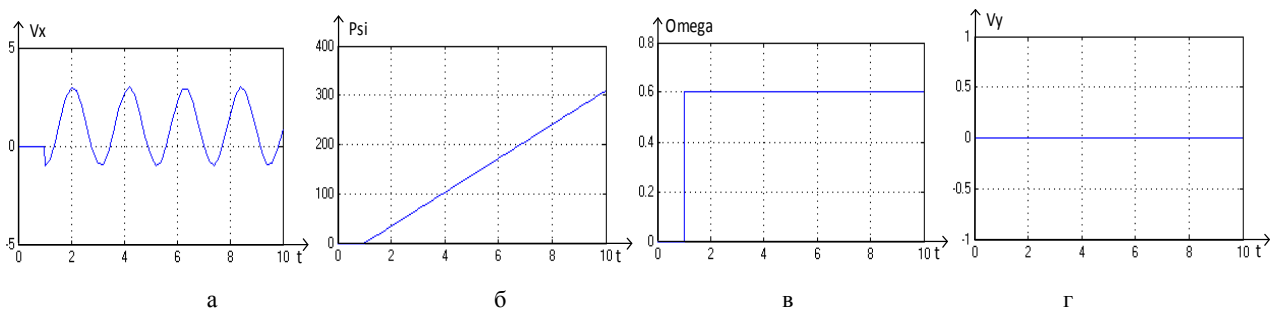


Рис. 7. Результаты моделирования при $m = 1, R = 5, V_i = 1$

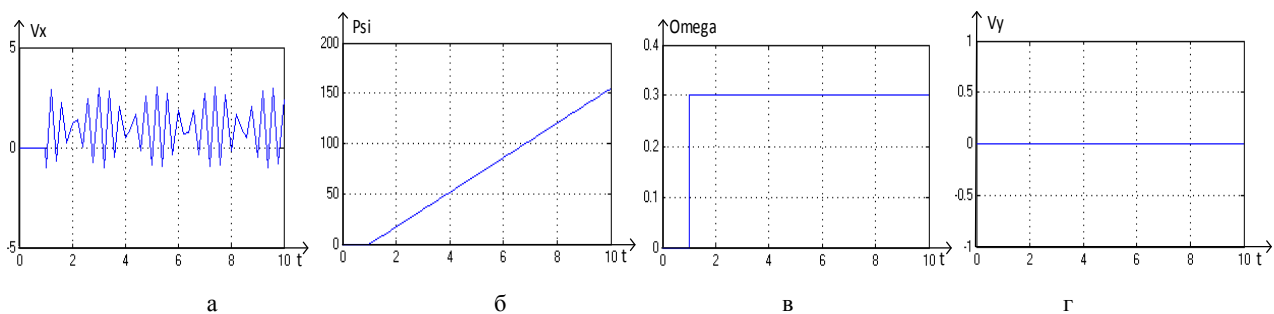


Рис. 8. Результаты моделирования при $m = 1, R = 10, V_i = 1$

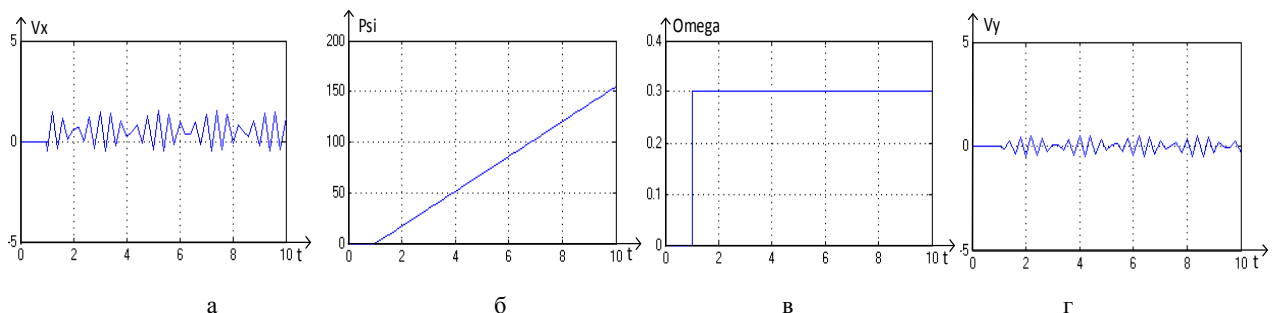


Рис. 9. Результаты моделирования при $m = 2, R = 10, V_i = 1$

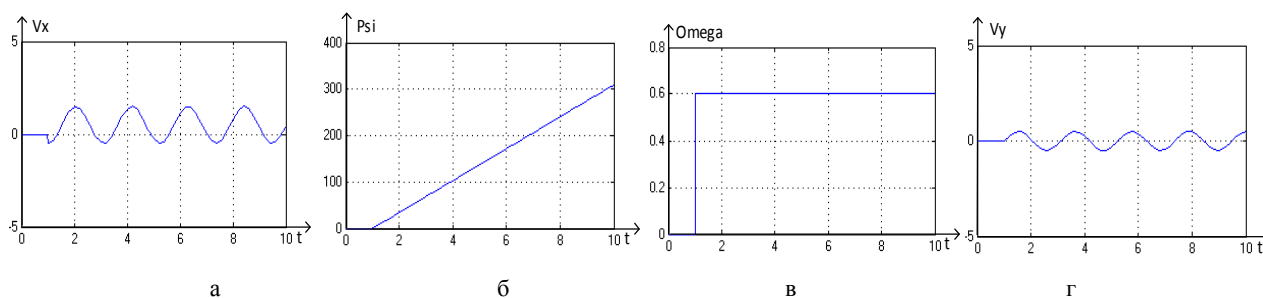
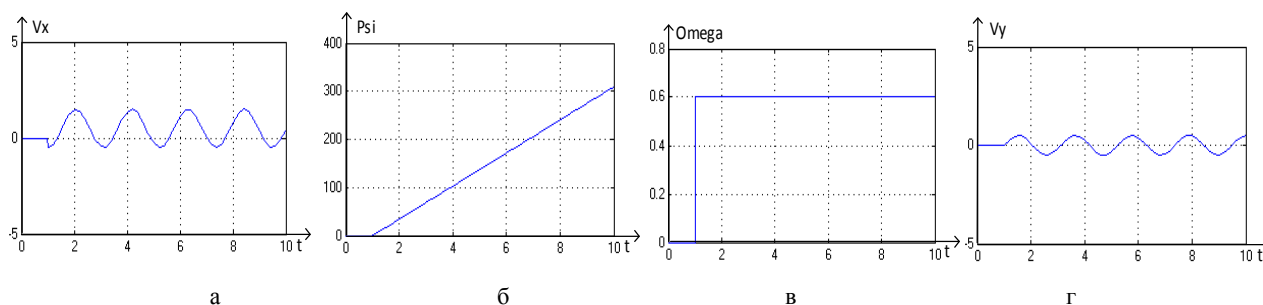
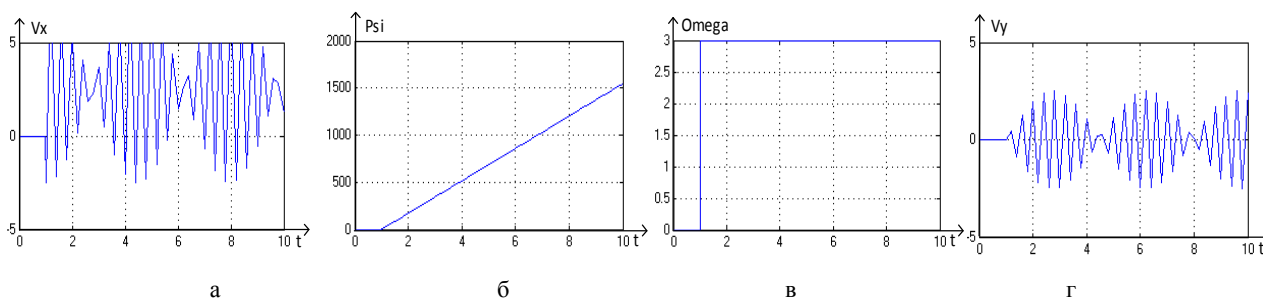
Рис. 10. Результаты моделирования при $m = 2, R = 5, V_i = 1$ Рис. 11. Результаты моделирования при $m = 2, R = 5, V_i = 2$ Рис. 12. Результаты моделирования при $m = 2, R = 5, V_i = 5$

Таблица 1 – Результаты моделирования

Исходные данные	$V_x \max$	θ (при $t = 10$)	ω	$V_y \max$
$m = 1, R = 5, V_i = 1$	3	300	0.6	0
$m = 1, R = 10, V_i = 1$	3	150	0.3	0
$m = 2, R = 10, V_i = 1$	2	150	0.3	1
$m = 2, R = 5, V_i = 1$	2	300	0.6	1
$m = 2, R = 5, V_i = 2$	3	600	1.3	1.5
$m = 2, R = 5, V_i = 5$	6	1500	3	3

Выводы

Предложенная компьютерная модель голономного движения трёхколёсной платформы, реализованная в среде Matlab Simulink, позволяет проследить динамику изменения линейных и угловой скорости МПВК (рис. 7-12) при изменении исходных параметров.

Анализ полученных результатов показывает нестабильность изменения линейных скоростей по осям x и y . Характер изменения угловых скоростей

и угла поворота платформы прямо пропорционально зависит от расстояния между центром платформы и центром колеса, а линейные скорости – от массы платформы.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении дальнейших исследований процесса управления голономным движением мобильной платформы с всенаправленными колесами в условиях ограниченного пространства, при наличии препятствий, и моделировании процессов, связанных с ее перемещением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловский В.Е., Шишканов Д.В. Исследование динамики и синтез управления колесными аппаратами с избыточной подвижностью. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. 2006. № 12. 28 с.

2. Diegel O., Badve A., Bright G. Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Ro-bots. Proc. 2002 Australasian Conference on Robotics and Automation (ARAA-2002). Auckland. 2002. P. 117-121.
3. KUKA Roboter GmbH KUKA OMNIMOVE. URL : <http://www.kuka-omnimove.com/en-de>.
4. Мартыненко Ю.Г., Формальский А.М. О движении мобильного робота с роликонесущими колесами/ Известия РАН. Теория и системы управления. 2007. № 6. С. 142-149.
5. Кампийон, Г., Бастен Ж., Д'Андреа-Новель Б. Структурные свойства и классификация кинематических и динамических моделей колесных мобильных роботов, Нелинейная динамика. 2011. Т. 7, № 4. С. 733-769.
6. Liu Y., Zhu J.J., Williams R.L. II [et. al.]. Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization // Robotics and autonomous systems. 2008. Vol. 56. P. 461-479.
7. Платформа с всенаправленным приводом. URL : <http://www.mtahlers.de/index.php/robotik/omnivehicle/>
8. Нгуен Н.М. Разработка математической модели погрузочно-разгрузочного устройства с всенаправленными колесами. Труды МАИ. 2012. № 58. 22 с.

REFERENCES

1. Pavlovsky, V.E. and Shishkanov, D.V. (2006), *Investigation of the dynamics and synthesis of control of wheel apparatuses with redundant mobility*, Preprint IPM, No. 12, 28 p.
2. Diegel, O., Badve, A. and Bright, G. (2002), "Improved Mecanum Wheel Design for Omni-directional Ro-bots", *Proc. 2002 Australasian Conference on Robotics and Automation (ARAA-2002)*, Auckland, pp. 117-121.
3. KUKA Roboter GmbH KUKA OMNIMOVE, available at: <http://www.kuka-omnimove.com/en-de> (last accessed May 15, 2018).
4. Martynenko, Yu.G. and Formalsky A.M. (2007), "On the motion of a mobile robot with roller-bearing wheels", *Izvestia RAS. Theory and control systems*, No 6, pp. 142-149.
5. Campion, G., Basten J. and D'Andrea-Novell B. (2011), "Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots", *Nonlinear Dynamics*, Vol. 7, No. 4, pp. 733-769.
6. Liu, Y., Zhu, J.J. and Williams, R.L. (2008), "Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization", *Robotics and autonomous systems*, Vol. 56, pp. 461-479.
7. Platform with omnidirectional drive, available at: <http://www.mtahlers.de/index.php/robotik/omnivehicle/> (last accessed May 15, 2018).
8. Nguyen, N.M. (2012), "Development of a mathematical model of a loading and unloading device with omnidirectional wheels", *Proceedings of MAI*, No. 58, p. 22.

Надійшла (received) 18.05.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 25.07.2018

Модельовання мобільної платформи з всенаправленими колесами

В. І. Барсов, О. Ю. Костерна

Предметом вивчення в статті є процес переміщення мобільної платформи з всенаправленими колесами. **Мета** – комп'ютерне моделювання, яке описує можливі напрямки руху мобільної платформи з всенаправленими колесами. **Задача**: виконати комп'ютерне моделювання голономного руху триколісної платформи в середовищі Matlab Simulink. Використовуваними **методами** є: системний аналіз, чисельні методи, методи математичного та комп'ютерного моделювання. Отримані наступні **результати**. На основі проведеного огляду публікацій з даної тематики обґрунтовано необхідність удосконалення математичної моделі мобільної платформи з всенаправленими колесами. Розглянуто можливі варіанти переміщення мобільної платформи в умовах обмеженого простору, при наявності перешкод. Виконано комп'ютерне моделювання в середовищі Matlab Simulink, яке описує голономний рух мобільної платформи з всенаправленими колесами. **Висновки**. Запропонована модель дозволяє досліджувати голономний рух триколісної мобільної платформи. Аналіз отриманих результатів показує нестабільність зміни лінійних швидкостей по осям x і y . Характер зміни кутових швидкостей і кута повороту платформи прямо пропорційно залежить від розстояння між центром платформи і центром колеса, а лінійні швидкості - від маси платформи. Отримані **результати** можуть бути використані при проведенні подальших досліджень процесу управління голономного руху мобільної платформи з всенаправленими колесами в умовах обмеженого простору, при наявності перешкод, і моделюванні процесів, пов'язаних з її переміщенням.

Ключові слова: всенаправлене колесо; мобільна платформа; кінематична модель; голономний рух.

Mobile platform with omnidirectional wheels modeling

V. Barsov, E. Kosternaya

The **subject of the article** is the process of a mobile platform with omnidirectional wheels moving. The **purpose** is computer modeling, which describes the possible directions of a mobile platform with omnidirectional wheels' movement. The **task**: to perform computer modeling of the holonomic movement of the three-wheel platform in the Matlab Simulink. The **methods** used are: system analysis, numerical methods, mathematical and computer modeling methods. The following **results** are obtained. Possible options for the mobile platform moving in limited space conditions are suggested, in the obstacles presence. Computer simulations describing the holonomic movement of a mobile platform with omni-directional wheels and in the Matlab Simulink environment were performed. **Conclusions**. The proposed model allows to investigate the holonomic movement of a three-wheeled mobile platform with omnidirectional wheels. Analysis of the obtained results shows the instability of the change in linear velocities along the x and y axes. The nature of the change in the angular velocity and the angle of rotation of the platform is directly proportional to the distance between the center of the platform and the center of the wheel, and the linear velocity depends on the mass of the platform. The obtained results can be used for further studies of the controlling the holonomic movement process of a mobile platform with omni-directional wheels in limited space conditions, in the obstacles presence, and modeling the processes associated with its movement.

Keywords: omnidirectional wheel; mobile platform; kinematic model; holonomic movement.

O. Dmitriiev¹, I. Borozenec², S. Shilo², T. Kalimulin²

¹ Flight Academy of National Aviation University, Kropivnitsky, Ukraine

² Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

IMITATION MODEL OF SUPPORT FOR DECISION-MAKING BASED ON ASSESSMENT OF THE SITUATION BY OPERATORS OF THE AUTOMATED AIR TRAFFIC CONTROL SYSTEM

Significance. A human-operator cannot conduct a situation assessment in a timely manner and to react in a proper manner when situation changes. The problem is worsening with the uncertain procedure of selection of dispatchers for duty shifts in control centers and their adequate preparation to carry out the tasks for intended purpose. This doesn't allow to reach the adequate level of competency during the process of their professional activities. **Aim of the article.** Developing an imitation model of the operator's complex activities to make a decision based on the situation assessment. **The results of the work.** The analysis of automated air traffic control system (AATCS) operator activities while assessing the situation with use of existing automation complexes allowed to identify following limitations of informational support of AATCS, which are influencing the effectiveness of its work. Most of the time of situation assessment (up to 41%) is spent by operator to receive additional information from another decision makers and informational elements, showed as part of informational model (IM). These time expenditures are due to low level of information content of information elements presented as part of IM and which are not corresponding to the character of the operator's activity in situation assessment. Methods for reducing the errors of the ACS operator can be divided into the following groups: automation of the most complex operations; introduction of information redundancy at the stage of designing systems for ensuring operators activities; increasing the workload of operators; advanced training for the operator; increased responsibility for errors with increasing interest in error-free operation etc. **Conclusions.** The generalized analysis of the operator's activity is conducted, the features of the operator's work with the information model are marked; the directions of the conceptual model formation in the decision-making process during the situation assessment are determined; simulation modeling has been carried out and a model of the operator's activity has been developed for the study of the activities of decision-makers during the situation assessment; giving the estimation of time expenses for performance of the various actions connected with the analysis of information models in various conditions.

Keywords: simulation modelling; operator activity; situation assessment; decision-making.

Introduction

Significance. The problem of ensuring the required indicators of the effectiveness of decision-making by operators of the automated air traffic control system is being thrown into sharp relief recently. Both physically and morally outdated automated systems at the given level of command results into a slow reaction in critical situations and information lags. As a result – a human-operator cannot conduct a situation assessment in a timely manner and to react in a proper manner when situation changes. The problem is worsening with the uncertain procedure of selection of dispatchers for duty shifts in control centers and their adequate preparation to carry out the tasks for intended purpose. This doesn't allow to reach the adequate level of competency during the process of their professional activities.

Aim of the article. Developing an imitation model of the operator's complex activities to make a decision based on the situation assessment.

Literature analysis. The development and description of models of operator activity in man-machine systems has been devoted to a sufficiently large number of works, for example [1–4]. Series of works [1, 2] are devoted to the principles and theoretical foundations of the formation of human activity models, others are looking on models of simple actions or processes that are elements of a complex human activity. Models of complex systems [5, 6] are usually formed on the basis of the application of the theory of queuing systems. Such models allow us to obtain generalized characteristics of the system and its "human" link

(average service time of applications, probability of service, etc.). At the same time, the reliability of studies of air traffic control systems largely depends on the degree of detailed consideration of human activities in the system. The development and implementation of simulation models of complex activities of the operator [2, 7] became possible with use of the achievements of modern information technologies.

Main part

In order to estimate the influence of informational models (IM) quality on the situation assessment conducted by the operators of the automated air traffic control system (AATCS) we will analyze main processes related to them. In the system being under consideration, decision maker's (DM) activities are related to the perception and analysis of the IM environment and its fragments. Materials in the field of ergonomics and human factors engineering are devoted to analysis of these activities [3]. Many DMs can take part in situation assessment during the process of obtaining information about current air situation, air objects, airfield objects etc.

In consequence of this, during the analysis of DMs activities it is important to take into account group hierarchical character of their activities and special aspects of controlmen and analysts activities.

Mark out a set of features, which are present while working with environment informational model: during the assessment DM is correlating received data to really possible results; data is being decrypted during its analysis. Herewith, in some instances, human can reconstruct several parameters which have not been present at the IM;

basing on the operational image of situation status and experience, DM can predict changes in the situation and, therefore, the emergence of new information; assessing the complex situation, the DM is acting on the assumption of more extensive information than the one, he is getting from IM; on the basis of previously gained knowledge and experience, DM is armed with additional intelligence about possible situation condition and objects under control in comparison with those displayed at the informational model.

Data received from IM together with additional intelligence is utilized as a basis to form a conceptual model (CM) of the analyzed object (current situation) [9] which is specifying DMs' activities. This way, IM is specifying only a part of CMs' content and serves as a basis for its forming.

Conceptual model is helping the DM to understand the whole amount of information on current situation and represents a basis to decision-making when determining the variant of control actions based on the situation analysis. In its turn in order to assess the situation DM has to create a particular CM based on gathered and processed data about current situation.

The process of forming the CM used to assess the situation by DM is influenced by [10] current air situation, active tasks, sophistication of the situation, flights, different in terms and conditions: normal conditions and low flight intensity; normal conditions and average intensity of flights; complex conditions and maximum intensity of flights. Variation of difficulty of the situation will influence on the order of situation assessment and will define the necessity to attract other AATCS operators to decision-making process, which is caused by: absence of specified beforehand methods how to solve current task; lack of beforehand specified pieces of information required to assess the situation; high tempo of situational changes, which leads either to necessity of constant adjustments of CM or to its significant simplification; peculiar properties of the intellectual character of DMs activities during the creation of CM aimed to choose an optimal decision on situation assessment depending on the difficulty of the situation.

We will carry out an analysis of the process of situation assessment by the AATCS operator in difficult conditions with the maximum intensity of flights. Received results of the study of the process of situation assessment will be used to establish the expenditures time required to carry out actions related to assessment of DMs.

Situation assessment is a complicated process, which main aim is to establish its true state for the AATCS operator's benefit. The complexity of this process is due to involvement of a number of interrelated elements of the information support system (ISS) for the situation assessment and each of them affects, to a greater or lesser degree, the achievement of the goal.

In its turn, the effectiveness of situation assessment is also conditioned by the uncertainty of determination of its difficulty, dynamics of change, for reliable estimation of which it is necessary to use various IM and to involve other operators of the air traffic control center (ATCC). Content and degree of detail or generalization of information about current situation are affected by the

conditions, assessed by the DM.

Research on the process of situation assessment by the DM can be conducted in several ways [11, 12].

The most objective results of the DM's activities assessment can be received during the researches of his activities at the ATCC, which is economically impossible.

It is impossible to build the analytical model of DM's activities during situation assessment due to absence of adequate ways of formal description of DM's intellectual activity, absence of strict algorithm of his activity, impossibility to calculate all factors which are affecting his activity [2, 4, 11].

Thus, the only one way to carry out researches of DM's activity is to conduct simulation modeling.

Imitation model allows to take into account group character of activity during situation assessment, DM's capabilities on processing and deciphering of the information, represent his particular qualities on work with different information display devices (IDD), take into consideration necessary time expenditures needed to conduct conversion from IM to CM.

DMs' activity model during solving the task of air traffic control in complex situation with maximum intensity of flights can be represented as a graph (Fig. 1). The considered model of DMs' activity in situation assessment can formally be defined as follows:

$$P = |p_{ij}|, \quad (1) \quad T = |t_{ij}|, \quad (2)$$

where P – a matrix of possibilities of transition between events ij ; T – matrix of time spent on work, while transiting from event i to event j ; p_{ij} – possibility of transition from event i to event j ; t_{ij} – time spent on transition from event i to event j ; $i = j = N$ – corresponds to an amount of states in which DM can be.

On Fig. 1 values of p_{ij} and t_{ij} are represented as w_{ij} , where w_{ij} (p_{ij} , t_{ij}).

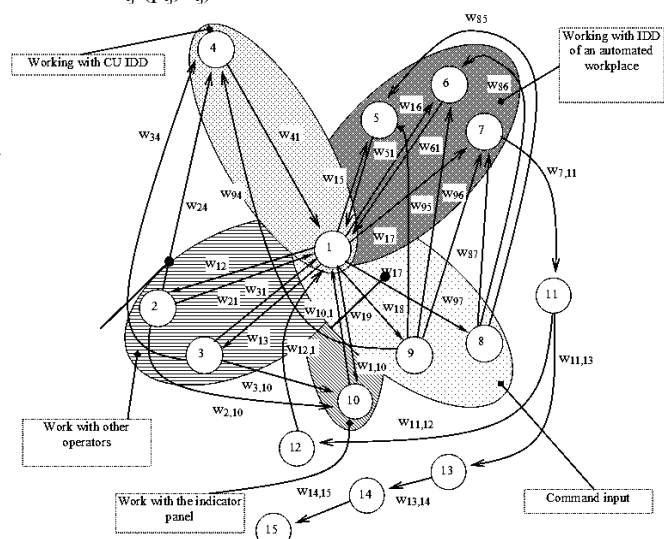


Fig. 1. Model of DMs' activity model during situation assessment

It is impossible to establish the order and sequence of the actions, performed by the DM in the proposed model. Therefore, in general case, transitions between p_{ij} states are equally possible. Suppose that a variant of the

complexity degree – are normal conditions with a low intensity of flights. In this way, the situation will be relatively simple, DM is well-informed about it and can analyze and decide on the information, displayed on the CU IDD. Suppose that in this case transition $w_{9,11}$ has next characteristics: $w_{9,11}$ (0,75; $t_{9,11}$). Herewith, the sum of the probabilities of the transition from state 9 to other states is equal to 1. Vertices of the graph correspond to

events, such as “information, presented with collective use information display devices (CU IDD), apprehended”, “Input of commands into the computer is completed”, while edges of the graph correspond to possibilities of transition from one event to another and also time expenditures on each transition. Determine the content of the vertices of a given graph, as well as the meaning and sequence of transitions between vertices (Tables 1, 2).

Table 1 – Events in the process of situation assessment

Events	Event content
1	The beginning of the automated control system operator's work for solving problems of situation assessment
2, 10	Perception of information displayed on CU IDD
3, 11	Searching for additional (up-to-date) information about situation, also changing the content (form) of the information showed on CU IDD upon operator's request.
4, 12	Searching for additional (up-to-date) information about situation of other operators, also changing the content (form) of the information showed on CU IDD upon operator's request.
5, 13	Assessing the situation basing on information, presented on AW IDD.
6, 14	Input of control commands, to change the composition of information displayed on the IDD
7, 15	Other operators' work on receiving required information about the situation
8, 16	Other operators' work on clarification of quality of sources of information about the situation, actions, conducted to improve the quality of information about the situation
9	Operator's transition to solution of the control actions problem
17, 18	Work of an operator with other operators on proposals development to improve the quality of provided information.
19, 20	Report of conclusions made from situation assessment to the chief of duty shift with proposals on the degree of impact on air objects and their agreement
21	End of work for solving problems of situation assessment

Table 2 – Contents of transition from state to state

Transitions	Actions, taken by DM when transiting from one state to another
$W_{12}, W_{9,10}$	Operator's assessment of the situation with CU IDD
$W_{21}, W_{10,9}$	Finding more information about the situation by the operator
$W_{13}, W_{9,11}$	Referring to other DMs for searching or clarifying information about the situation, or to change the content of the information, shown on CU IDD
$W_{14}, W_{9,12}$	Referring to other DMs to receive information about situation or to change the content of the information, shown on CU IDD
$W_{15}, W_{9,13}$	Assessing the information shown on AW IDD
$W_{65}, W_{56}, W_{13,14}, W_{14,13}$	Input of commands to change information display parameters on AW IDD and control (processing) of the command input results.
$W_{73}, W_{37}, W_{15,11}, W_{11,15}, W_{48}, W_{84}, W_{12,16}, W_{16,12}$	Searching and receiving additional information about situation from other DMs.
$W_{9,17}$	Information about situation has been assessed by the operator.
$W_{18,17}, W_{17,18}$	Stating the tasks on specification of control actions.
$W_{17,19}$	Report of conclusions made from situation assessment to the chief of the duty shift.
$W_{19,20}, W_{20,19}$	Refinement of the results of situation assessment with the chief of the duty shift
$W_{19,20}$	Input of the control commands into the computer, end of the situation assessment phase.

In case of complex conditions and maximum intensity of flights, it is possible to suggest a decrease of information volume, displayed on the IDD. This determines the need of the operator to contact other DMs for information. Researching the model when possibilities of transitions $p_{13}, p_{9,11}, p_{14}, p_{9,12}$ sequentially take values (0,25; 0,5; 0,75), while in each experiment the sums of the probabilities of the transition from one state to another are equal to 1. Consider the obtained results of the study of the proposed model of the ATC operator's activity.

Based on the results of the imitation modeling, the mathematical expectation of the time spent working with CU IDD ($\bar{t}_{CU\ IDD}$) is $\bar{t}_{CU\ IDD} = 75,7 - 863,15$ sec.

Allocation of time, spent by DM on processing the information presented on the IDD received with use of

both researched model of an ATC operator activities and from expressions (1, 2) for different situation options is presented on the Fig. 2.

On diagrams, presented on the figures we can see allocation of time expenditures of operator working with other DMs in standard conditions; in normal conditions with low intensity of flights; in conditions of situation assessment under normal conditions and the average intensity of flights and during situation assessment in difficult conditions and the maximum intensity of flights respectively.

Thus, situation assessment in normal conditions with low intensity of flights; under normal conditions and the average intensity of flights, time expenditures remain practically unchanged and are equal to $\bar{t}_{DM} \approx 158,33$ sec.

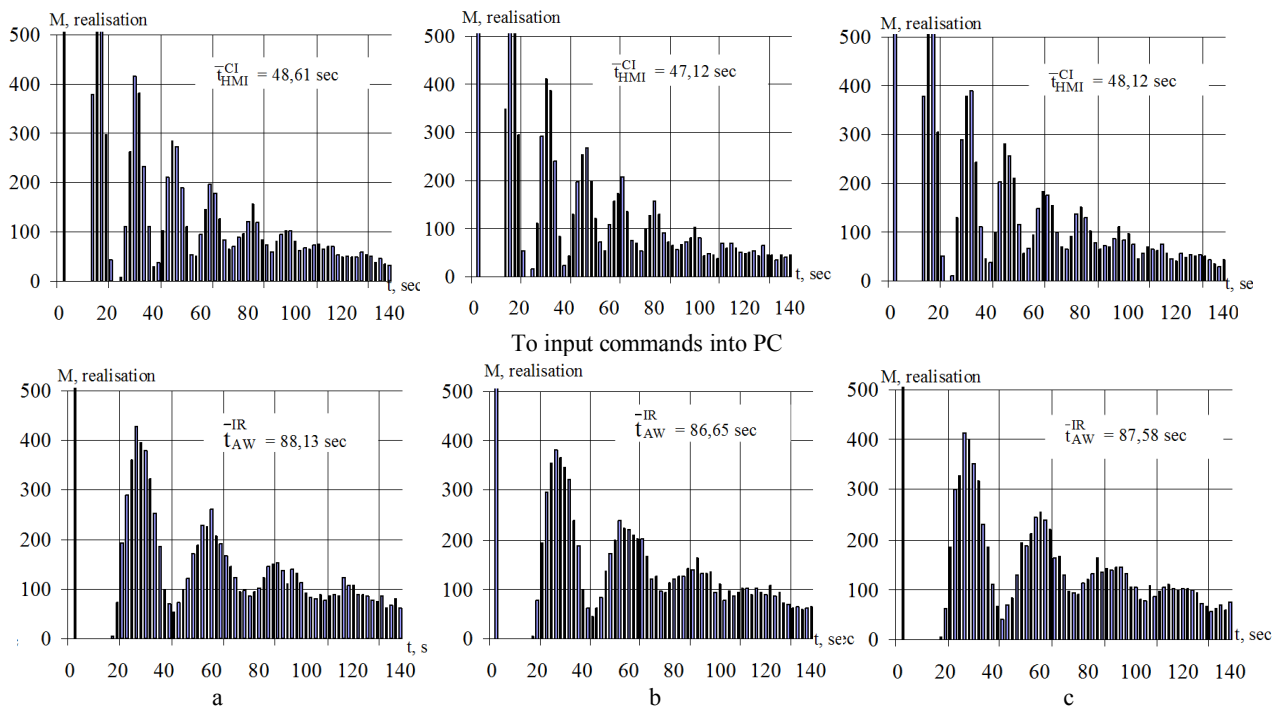


Fig. 2. Time expenditures to assess information: a – on IDD; b – on IDD in normal conditions; c – on IDD in difficult conditions

This is due to the inability of the DM to conduct an independent comprehensive assessment of the situation and the need for a great deal of time to process information and to create CM. DM produces a large number of decoding operations, reveals the structural

elements of the situation, tries to process the information presented both on CU IDD and received from other DMs. From Fig. 3 we see that time expenditures on work with CU IDD are decreasing as the situation becomes more complicated.

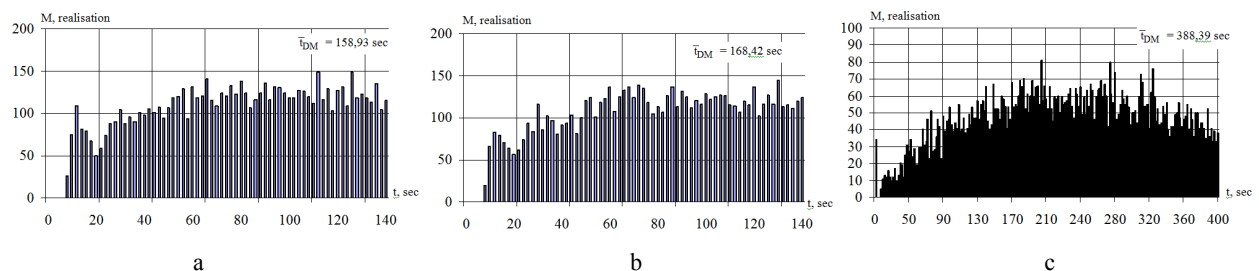


Fig. 3. Allocation of time expenditures of operator working with: a – other DMs; b – other DMs while assessing situation in normal conditions; c – other DMs while assessing situation in difficult conditions

Therefore, it is necessary to distribute the task of assessing the situation between the operators of the duty shift, in order to ensure a time reserve for the establishment of the DMs' CM. In the study of the developed model of the DM activity, an estimation of the time spent on the evaluation of the information presented on the operator's automated workplace IDD of the automated control system and on the input of commands to the computer. The allocation of time for the situation assessment using the automated workplace and the input of commands are presented on the fig. 4.

Mathematical expectation of time spent by DM for processing information about the situation is $\bar{t}_{HMI}^{IR} \approx 87$ sec, and mathematical expectation (ME) of time spent for input of commands and control of their accuracy is $(\bar{t}_{HMI}^{CI}) - \bar{t}_{HMI}^{IR} \approx 48$ sec. Obtained results demonstrate that time expenditures on work with IDD of automated workplace and input of commands into computer practically do not

depend on the degree of situation's complexity. This, in its turn, leads to the fact that main sources of information are CU IDD and other duty operators. Automated workplace is used to solve additional tasks of situation assessment.

The analysis of DM activities made it possible to establish the following: an operator of automated ATC workplace is performing actions and operations to assess the information, shown on CU IDD and of individual use; performs independent actions to change the display settings on IDD of the automated workplace, assesses their results; collects information and corrects its displaying on CU IDD with help of other operators, and receives from them information about the situation, absent on the IDD. Time expenditures to solve mentioned tasks: processing information, displayed on CU IDD will take $\bar{t}_{DM} = 75,7 - 863,15$ sec, which is 50% from the time, spent to solve current tasks; analysis of the information, displayed at the computer-automated workplace takes 13% from the overall time.

$\bar{t}_{HMI}^{IR} \approx 87$ sec are spent on data analysis, which is 9,4% from the overall time, input of commands into the computer and analysis of their accuracy takes

$\bar{t}_{HMI}^{CI} \approx 48$ sec or 4,6 % from overall time; time spent on work with other operators is equal $\bar{t}_{DM} = 158,33 - 388,39$ sec or 37% from overall time.

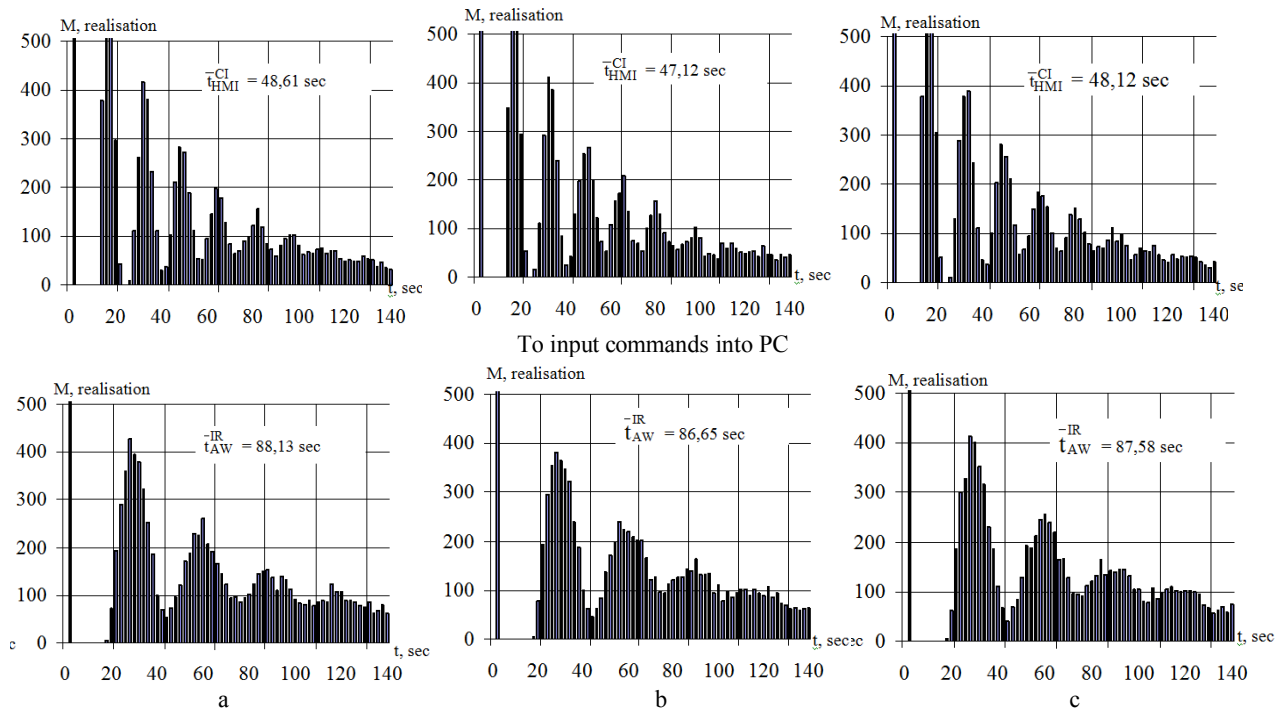


Fig. 4. Time expenditures to assess information: a – on IDD; b – on IDD in normal conditions; c – on IDD in difficult conditions

Conclusions

The analysis of AATCS operator activities while assessing the situation with use of existing automation complexes allowed to identify following limitations of informational support of AATCS, which are influencing the effectiveness of its work.

Most of the time of situation assessment (up to 41%) is spent by operator to receive additional information from another DMs and informational elements, showed as part of IM. These time expenditures are due to low level of information content of information elements presented as part of IM and which are not corresponding to the character of the operator's activity in situation assessment.

Significant time expenditures to input commands to change parameters of displaying IM on the computer-automated workplace.

Necessity to conduct big amount of operations to decrypt information when creating CM, caused by discrepancy of the way information is displayed in the IM to the peculiarities of information processing by the AATCS operator.

Limited use of automation tools of ATCC to select data and form IM, controlling parameters of displayed information on CU IDD.

Low automation of solving these tasks leads to sufficient time expenditures to solve them.

Wherein human made mistakes are subdivided into logical (wrong decisions), sensorial (false information perception) and operational, or motoric (wrong realisation of the decision). Intensity of human made mistakes can vary widely from 1-2% to 15-40% of overall amount of operations, conducted when solving the task.

Methods for reducing the errors of the ACS operator can be divided into the following groups:

- automation of the most complex operations;
- introduction of information redundancy at the stage of designing systems for ensuring operators activities;
- increasing the workload of operators;
- advanced training for the operator;
- increased responsibility for errors with increasing interest in error-free operation etc.

REFERENCES

1. Lavrov, E.A. and Pasko, N.B. (2012), "Podhod k formalizovannomu opisaniyu diskretnoy deyatel'nosti v sistemah chelovek-tehnika-sreda", *Visnyk Sum'skogo Derzhavnogo Universitetu. Ser.: Tehnichni nauki*, No. 3, pp. 55-67.
2. Pavlenko, M.A. (2015), "Upravlenie vremenem pri modelirovani deyatelnosti operatora ASU v sistemah upravleniya slozhnyimi dinamicheskimi objektami", *Sistemy Obrobky Informatsiy*, No. 1, pp. 88-91.
3. Gubinskiy, A.I. and Evgrafov, V.G. (1993), "Informatsionno-upravlyayushchie cheloveko-mashinnyye sistemy: issledovanie, proektirovanie, ispytaniya", *Mashinostroenie, Moscow*, 528 p.
4. Anohin, A.N. and Ivkin, A.S. (2012), "Cheloveko-mashinnyy interfeys dlya podderzhki kognitivnoy deyatel'nosti operatorov AS", *Yadernyye izmeritelno-informatsionnyye tehnologii*, No. 1, p. 41.

5. Grishko, A.K., Yurkov, N.K. and Kochegarov, I.I. (2014), "Metodologiya upravleniya kachestvom slozhnykh system", *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma: Nadezhnost i kachestvo*, Vol. 2, pp. 377-379.
6. Gorelova, G.V. (2013), "Kognitivnyi podhod k imitatsionnomu modelirovaniyu slozhnykh sistem", *Izvestiya Yuzhnogo federalnogo universiteta*, No. 3 (140), pp. 239-250.
7. Yakimov, A.I. (2010), "Tehnologiya imitatsionnogo modelirovaniya sistem upravleniya promyshlennyykh predpriyatiy", *Monografiya, Belorussko-rossiyskiy universitet, Mogilev*, 304 p.
8. Pavlenko, M.A. (2016), "Kohitivnyi pidkhdid do rozrobky informatsiinykh modelei v systemakh pidtrymky pryiniattia rishen", *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy*, No. 2, pp. 138-141.
9. Oboznov, A.A. (2013), "Intellectualnaya sistema dlya formirovaniya u operatorov kontseptualnoy modeli tehnologicheskogo objekta", *Eksperimentalnaya psihologiya*, Vol. 6, No. 4, pp. 52-58.
10. Vasiukhin, M.I. (2011), "Imitatsiina model povitrianoi obstanovky nad terytoriiu aeroportu ta pryehlykh do noho zon", *Vestnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnicheskoho unyversyteta*, No. 2, p. 41.
11. Obod, I.I., Strelnytskyi O.O. and Andrushevych V.A. (2013), "Struktura ta pokaznyky yakosti obrobky informatsii system sposterezhennia povitrianoho prostoru", *Systemy obrobky informatsii*, No. 8, pp. 80-83.
12. Mukhtarov, P. Sh. (2014), "Liudskiy chynnyk v aeronavihatsii: rivni domahan aviadyspetcheriv pry otsintsi bazhanosti vidstani mizh povitrianymy sudamy", *Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii*, No. 1, pp. 283-288.

Надійшла (received) 21.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.08.2018

Імітаційна модель підтримки прийняття рішень з оцінки обстановки операторами автоматизованої системи управління повітряним рухом

О. М. Дмитрієв, І. О. Борозенець, С. Г. Шило, Т. М. Калімулін

Актуальність. Людина-оператор не може своєчасно проводити оцінку ситуації і реагувати належним чином при зміні ситуації. Проблема посилюється невизначеною процедурою відбору диспетчерів для чергових змін в центрах управління і їх адекватної підготовкою до виконання завдань за призначенням. Це не дозволяє досягти достатнього рівня компетентності в процесі їх професійної діяльності. **Мета статті.** Розробка імітаційної моделі комплексної діяльності оператора для прийняття рішення на основі оцінки ситуації. **Результати роботи.** Аналіз діяльності оператора при оцінці ситуації з використанням існуючих автоматизованих комплексів дозволив виявити наступні обмеження інформаційної підтримки системи, які впливають на ефективність його роботи. Велику частину часу оцінки ситуації проводить оператор для отримання додаткової інформації від інших ОПР та інформаційних елементів, показаних як частина ІМ. Ці часові витрати обумовлені низьким рівнем інформаційного наповнення інформаційних елементів, представлених як частина ІМ, і не відповідають характеру діяльності оператора при оцінці ситуації. Методи скорочення помилок оператора АСУ можна розділити на наступні групи: автоматизація найскладніших операцій; впровадження інформаційної надмірності на етапі проектування систем для забезпечення діяльності операторів; збільшення робочого навантаження операторів; підвищення кваліфікації для оператора. **Висновки.** Проведено узагальнений аналіз діяльності оператора, виділені особливості роботи оператора з інформаційною моделлю; визначено напрями формування концептуальної моделі прийняття рішень щодо оцінки обстановки; для дослідження діяльності осіб, що приймають рішення при оцінці обстановки, проведено імітаційне моделювання та розроблена модель діяльності оператора; наведено оцінку витрат часу на виконання різних дій, пов'язаних з аналізом інформаційних моделей в різних умовах.

Ключові слова: імітаційне моделювання; діяльність оператора; оцінка обстановки; прийняття рішення.

Имитационная модель поддержки принятия решений по оценке обстановки операторами автоматизированной системы управления воздушным движением

О. М. Дмитриев, И. А. Борозенец, С. Г. Шило, Т. М. Калимулин

Актуальность. Человек-оператор не может своевременно проводить оценку ситуации и реагировать надлежащим образом при изменении ситуации. Проблема усугубляется неопределенной процедурой отбора диспетчеров для дежурных смен в центрах управления и их адекватной подготовкой к выполнению задач по назначению. Это не позволяет достичь достаточного уровня компетентности в процессе их профессиональной деятельности. **Цель статьи.** Разработка имитационной модели комплексной деятельности оператора для принятия решения на основе оценки ситуации. **Результаты работы.** Анализ деятельности оператора при оценке ситуации с использованием существующих автоматизированных комплексов позволил выявить следующие ограничения информационной поддержки системы, которые влияют на эффективность его работы. Большую часть времени оценки ситуации проводит оператор для получения дополнительной информации от других ЛПР и информационных элементов, показанных как часть ИМ. Эти временные затраты обусловлены низким уровнем информационного наполнения информационных элементов, представленных как часть ИМ, и не соответствуют характеру деятельности оператора при оценке ситуации. Методы сокращения ошибок оператора АСУ можно разделить на следующие группы: автоматизация самых сложных операций; внедрение информационной избыточности на этапе проектирования систем для обеспечения деятельности операторов; увеличение рабочей нагрузки операторов; повышение квалификации для оператора. **Выводы.** Проведен обобщенный анализ деятельности оператора, выделены особенности работы оператора с информационной моделью; определены направления формирования концептуальной модели принятия решений по оценке обстановки; для исследования деятельности лиц, принимающих решения при оценке обстановки проведено имитационное моделирование деятельности оператора; приведена оценка затрат времени на выполнение различных действий, связанных с анализом информационных моделей в различных условиях.

Ключевые слова: имитационное моделирование; деятельность оператора; оценка обстановки; принятие решения.

A. Koshlan

Ivan Chernyakhovsky National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

CONCEPTUAL MODEL OF A SPECIALIZED GEOINFORMATION SYSTEM

One of the most important directions for solving the problem of improving the process of providing geospatial information on the systems of command and control of troops and weapons is the implementation into the practice of the Armed Forces of Ukraine management of military information systems (MIS), representing software and hardware complexes, that was designed to collect, process, store, analyze, simulation and visual display of geospatial information necessary to support decision-making on military command in peacetime and wartime, and tactics digital (electronic) cards and perform military applications (settlement) problems associated with the assessment of operational and tactical planning properties of the terrain and the use of force (means). To this end, the author proposes a conceptual model of a specialized geoinformation system in this article. This model allows us to combine into a single whole the views of researchers on the creation and operation of specialized geoinformation system. In the course of the study, classic methods of analysis and synthesis, methods of decomposition, mathematical statistics, modeling, complex technical systems, and others were used. As a result of the research carried out in the article, the author obtained a conceptual model of a specialized geoinformation system. The given model makes it possible to combine separate theoretical researches, to supplement and improve them and to enter a new scientific level. The proposed research may become a new scientific basis for the development and improvement of existing specialized geoinformation system. The author's proposed model allows describing the functioning of individual subsystems of a specialized geoinformation system, as a whole, and individual subsystems. The practical implementation of the above conceptual model of MIS will provide the provision of geoinformational resources to all information necessary for the management of troops and weapons. A distinctive feature of MIS will be the differentiation of the provision of geospatial data for various parts of the control of troops and weapons systems. In other words, this or that unit of military control will be provided only by the set of geospatial data that is necessary and sufficient for the purpose of the task.

Keywords: geoinformation systems; mathematical modeling; special systems; conceptual model; Armed Forces of Ukraine; analysis; synthesis; decomposition; generalization.

Introduction

At the present stage of historical development in connection with the emergence of new weapon types, such as high-precision weapons and weapons, is based on new physical principles (electromagnetic, laser, infrasound, etc.), which has a great destructive force, as well as in the coup in the military affair took place with the creation of their devices of delivery, which led to the necessity to improve the process of providing geospatial information on the control systems of troops and weapons [1-7].

One of the most important directions for solving this problem is the introduction in the practice of the Armed Forces of Ukraine management of military information systems (MIS) that represent hardware and software complexes designed to collect, process, store, analyze, simulate and visualize the geospatial information, that is required for supporting the decision-making on military command in peacetime and wartime, as well as the creation of digital (electronic) maps and execution of military-applied (settlement) tasks, according to associated with the assessment of operational-tactical properties of the area and the planning of the forces (devices) using.

Modern geoinformation systems, that is using in the Armed Forces of Ukraine are different in purpose, incompatible with one another and functionally limited.

An urgent scientific task arises, which consists in generalization, systematization and improvement of existing views on the creation and application of geoinformation systems of special purpose [5-7].

Proceeding from the foregoing, *the purpose of this article* is to develop a conceptual model of a special-purpose geographic information system.

Presentation of the main material

Nowadays, the following MIS are supplied to the Armed Forces of Ukraine: "Violit", "KIDD", "Arta" and "Combat". These geoinformation systems are actively used to provide troop control units with geospatial information. However, despite the positive recommendations of users about MIS adopted, their significant disadvantages were also noted, the main ones are [7-11]:

1) special software is not implemented in the network, but in the form of local automated workplaces, which causes its high cost;

2) devices of remote access through MIS servers are poorly designed;

3) there is no single database of geospatial information in the interests of providing users of MIS, which is part of the geographic information space of Ukraine, containing updated digital (electronic) topographical, naval navigation, special maps and plans of cities of all scale; spatial models of terrain in various formats with metadata, which ensures the creation of a mapping coverage on any parts of the Earth's surface in two-dimensional and three-dimensional form in vector and raster forms in different coordinate systems; providing this information on a user's request, subject to their permission, through geoservices for its viewing and download;

4) military-applied (estimated) tasks related to the assessment of tactical properties of the area and the planning of using of forces (devices) in MIS are not

implemented, analytical functions are based only on cardometry, morphometry and graphic transformation, due to the lack of algorithms for the transformation of geospatial information according to consumer requests. Despite a number of developments in this direction [1, 2, 5, 6], they are still underdeveloped. At the beginning of the XXI century, a similar situation occurred in the US Army and a number of NATO member states, that refused to develop new MIS and selected the ArcGIS specialized software as the MIS core of the combined commercial set of cartographic instruments (JCMTK). This specialized software is widely used in most government departments and commercial structures and is constantly being improved by ESRI, and units of the engineering corps develop and implement in the practice of geoinformational support for troops individual modules for solving military-applied tasks and processing of non-standard geospatial data;

5) knowledge base, that is necessary for solving military-applied (settlement) tasks;

6) MIS architecture is based on the principles of the so-called "stable" system, that contain once and for all the volume of special information contained therein;

7) during the life cycle of MIS are not accompanied by software developers, so new versions, and systems in general, differ little from each other (in the best case, add separate modules for solving one or two military applications (settlement) tasks).

In addition, MIS users point out, that the contents of databases and knowledge bases should be updated promptly as new and/or more accurate and detailed data is received. It is also necessary to improve and special software both in terms of increasing the efficiency of providing information to the consumer, and in terms of the reliability of the protection of special information from unauthorized admission. At the same time, the software must ensure correct operation of existing databases and knowledge bases. In the article, the author considers the conceptual model of MIS, which in his opinion, will eliminate the above-mentioned shortcomings and will ensure the effective transformation and presentation of large volumes of various geospatial information to military command, both in peacetime and in wartime.

The proposed conceptual model of MIS consists of three main subsystems (Fig. 1):

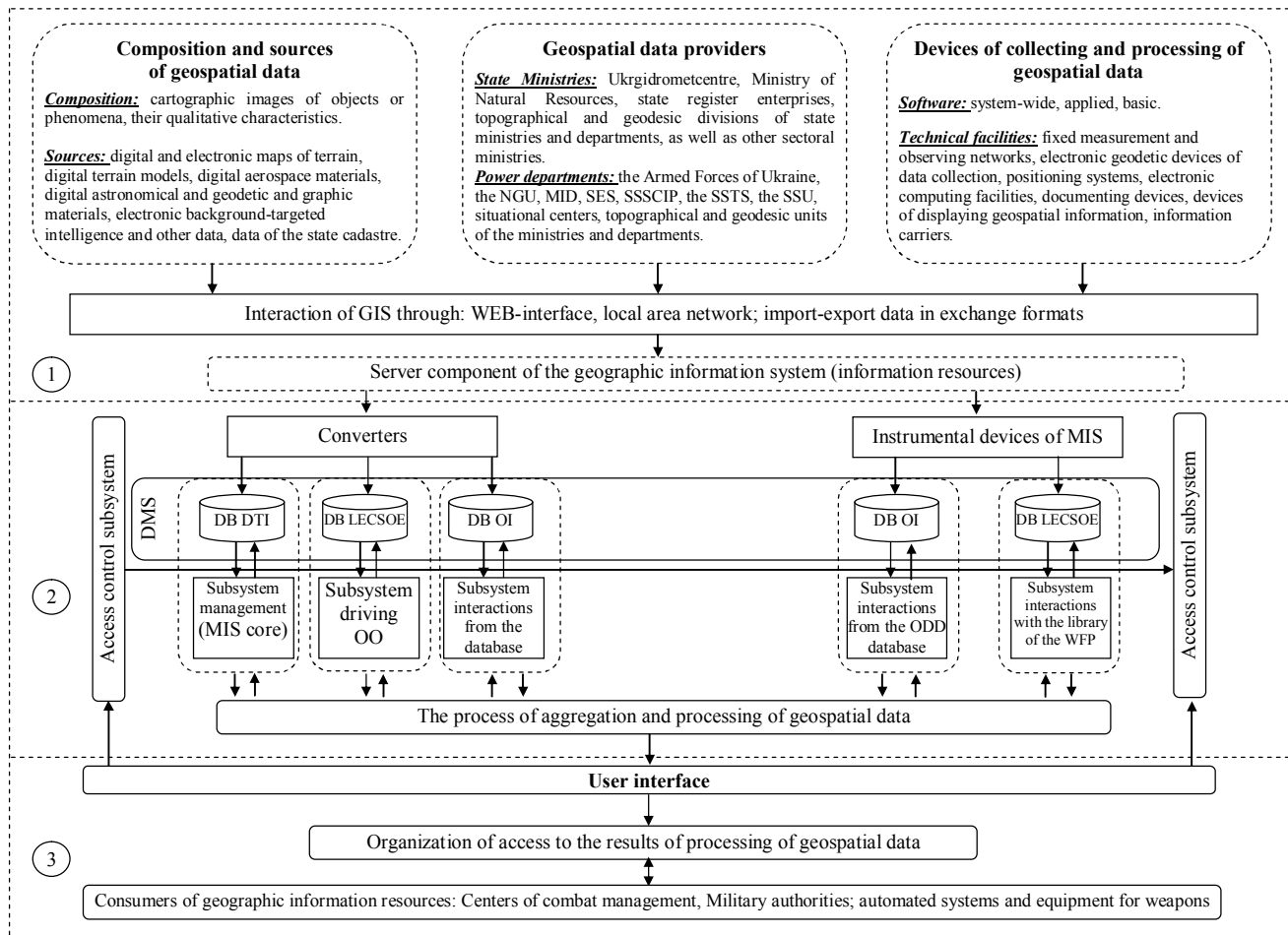


Fig. 1. The conceptual model of the geoinformation system of special purpose

1) subsystem of information support, that characterizes the process of obtaining geospatial data necessity for the functioning of MIS;

2) the subsystem of processing geospatial data, characterizing the process of automated and interactive

conversion of coordinate-time information in accordance with user requests and the need to submit it in a convenient way for them;

3) the subsystem of access to information resources of MIS, which characterizes the process of

obtaining information resources of the processed information by consumers.

Briefly consider the features of each of these subsystems.

1. A subsystem of information support. It deals with the content, sources, suppliers, devices of collection and pre-processing of geospatial data necessary for the functioning of MIS. It is assumed, that the source information will include the entire spectrum of astronomical-geodetic and gravimetric data, that determine the spatial position of the objects of the area, and cartographic models of the earth's space with their quantitative and qualitative characteristics.

The sources of geospatial information are all available data on terrain objects with their characteristics, including various digital and electronic maps, various special maps and schemes, digital models of the parameters of the gravitational field of the earth and coordinate directories of geodetic points

Suppliers of geospatial information should be all ministries and departments, that use in their work data on the terrain and objects located on it. First of all, suppliers of such information will be geodetic and cartographic enterprises of the State Register, as well as parts and topographic units of the Armed Forces of Ukraine.

Once the content of the source information has been generated, there will be a problem of bringing the heterogeneous data to the uniform appearance set for MIS.

First of all, it concerns the transformation of all the original information into a single system of geodetic coordinates, which will ensure the creation of a single geoinformation space for all geospatial data, used in the system.

In addition to this problem, the problem of the correct combination of all formats of geospatial information and the transition to a single internal format established for the geoinformation system under development is relevant. In this format, the representation of geospatial information in the domestic MIS is the SFX format.

The actual task will be the filtration of the original geospatial information. The fact is that the same objects and elements of the locality may be contained in various specialist materials supplied by various ministries and departments.

At the same time, the same information in different sources will be kept with different accuracy, and in relation to the plane objects of the terrain and relief, and with different details. Hence, there is a problem of allocation from the available output arrays of the highest quality in accuracy and most detailed in the content of information.

2. A subsystem of geospatial data processing.

It contains five main elements:

- 1) electronic card control (MIS core);
- 2) element of conducting operational environment;
- 3) element of interaction with the database of operational information;

4) element of interaction with the database of knowledge of military-applied (settlement) tasks;

5) element of interaction with the library of military-applied (settlement) tasks.

Let's briefly consider the main functions of each element of this subsystem [4]. Electronic card control (MIS core). It communicates with the database of digital terrain information (DTI) and provides the following functions:

1) control the display of electronic maps at a given scale, coordinate system, cartographic projection, according to the specified display criteria, in accordance with the requirements of the information and cartographic provision of the Armed Forces of Ukraine;

2) searching for objects of digital information about terrain by the given criteria;

3) conducting a classifier of digital information on terrain;

4) realization of the calculated functions of cartographic algebra, analytic and geometric functions;

5) preservation of digital terrain information in the internal format of MIS or using the cartographic converter of digital information on the terrain in an exchange format;

6) reception of solid copies of digital information about the terrain.

An element of operating the operating environment. It communicates with the library of electronic conditional signs of the operational environment (LECSOE) and provides the following functions:

1) support of the library of conventional signs of operational and tactical appointment, which corresponds to the domain of military information systems;

2) support of the rules of applying the operational-tactical situation in accordance with the domain of military information systems;

3) the formation of an operational-tactical situation on an electronic card in an interactive mode;

4) the formation in an automatic mode of a tactical situation on an electronic map in a given system of conditional signs according to the data available in the database of operational-tactical information;

5) display of the operational situation, deposited on an electronic card.

The element of interaction with the database of operational information (OI). It communicates with the database of operational information and provides the following functions:

1) the interaction of MIS with the database of the operational environment through the software interfaces;

2) viewing, editing, adding of records and sections of thematic information in the database of the operational environment;

3) the formation and execution of requests for data necessity for decision-making by public officials;

4) application of operational and tactical situation on electronic maps;

5) graphical representation of the results of the decision of military-applied tasks;

6) execution of queries and reception of reference attributive information about objects of the electronic card from the database of the operational environment.

An element of interaction with a database of knowledge of military-applied tasks. He communicates with the database of knowledge of military-applied (settlement) tasks and provides the following functions:

1) support in the current state of knowledge necessary for solving military and applied problems in the environment of MIS;

2) formation of the knowledge about the subject area;

3) formation of requests to the knowledge base for obtaining the reference information necessary for decision-making by public officials.

An element of interaction with the library of military-applied (settlement) tasks. He communicates with the library of military-applied (settlement) tasks and provides the following functions:

1) Launching and solving military-applied (settlement) tasks in the environment of MIS;

2) obtaining and displaying the results of the decision of military-applied (settlement) tasks on electronic maps;

3) using of MIS-core functions while working with digital terrain information;

4) using of operational-tactical information in the decision of military-applied (settlement) tasks;

5) preservation of the results of the decision of military-applied (settlement) tasks in the database of operational information.

3. A subsystem of access to information resources of MIS. It contains two elements: an access control and a user interface.

Let's briefly consider their main functions. Access control It provides the following functions:

1) authentication of users and verification of their rights and powers to work with information resources MIS;

2) delimitation of access to information resources of MIS;

3) Individual setting of parameters for each user (official).

User interface. It provides the following functions:

1) the visibility of using the subject area, adopted for the solution of military-applied (settlement) tasks;

2) informing the operator about the results of checking the correctness of his actions and warning about possible errors of the operator or failure of the software as a result of his improper actions;

3) connection of the operator to the MIS help system by interactively calling the electronic instructions and context-sensitive information about those or other MIS capabilities necessary for the solution of the task, and also by using "pop-up" prompts;

4) the ability to configure the operator to configure the necessary elements of the user interface for the more effective solution to a military application task.

The conclusion from this explosion

In the article, a conceptual model of a specialized geoinformation system is proposed.

The proposed model allows describing the functioning of individual subsystems of a specialized geoinformation system, as a whole, and individual subsystems.

The practical implementation of the above conceptual model of MIS will provide the provision of geoinformational resources to all information necessity for the management of troops and weapons.

A distinctive feature of MIS will be the differentiation of the provision of geospatial data for various parts of the control of troops and weapons systems.

In other words, this or that unit of military control will be provided only by the set of geospatial data that is necessary and sufficient for the purpose of the task.

Directions of further research will be the development of methods for processing various types of information in geoinformation systems of special purpose.

REFERENCES

- Osipov, G. K. and Alekseev, A. V. (2012), "Scientific and methodological foundations of the automated creation of electronic special relief plastics maps", *FGUP NTS "Informtekhnik"*, Moscow, No. 4 (256), pp. 31-38.
- Osipov, G. K. and Efimov, A. N. (2011), "Perfection of information support of geoinformation systems for military use", *Collection of scientific works of OVA*, St. Petersburg, No. 111, pp. 64-72.
- Das, Subrata (2008), *High-level data fusion*, Norwood, Artech House, 373 p.
- Prisyazhnyuk, S. P., Filatov, V. N. and Fedonenkov, S. L. (2009), *Geoinformation systems for military usage a textbook*, BSTU, St. Petersburg, 210 p.
- Karmanov, D. V. and Osipov, A. G. (2013), "The method of automated formation of a system of spatially-distributed traces of linear-extended objects on the undeveloped or information support of underdeveloped territories using geoinformation technologies", *Information and space*, No. 4, pp. 96-100.
- Osipov, A. G. and Efimov, A. N. (2014), "A technique for the comprehensive assessment of operational and tactical properties of terrain in decision support systems using geoinformation technologies", *Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky*, St. Petersburg, No. 642, pp. 102-109.
- Osipov, G. K. and Efimov, A. N. (2011), "Theoretical bases for the development of the content of terrain databases in geoinformation systems for military usage", *Proceedings of the Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky*, St. Petersburg, No. 631, pp. 130-132.
- Osipov, G. K., Prisyazhnyuk, A. S. and Efimov, A. N. (2013), "Theoretical and methodological foundations of the formation of an object-oriented information model of the navigational database", *Information and space*, No. 1, pp. 35-40.

9. Kukharsky, I. A., Podlipaev, V. O., Atrasevich, O. V. and Shumeiko, V. O. (2013), "Definition and basic concepts of geospatial intelligence", *Systems of information processing* : a collection of scientific works, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, No. 6 (113). pp. 96-98.
10. Podlipaev, V. O. (2013). "Geospatial intelligence, as a way to implement a geoinformation approach in the integrated processing of intelligence information", *Systems of information processing* : a collection of scientific works, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, No. 5 (112), pp. 53-55.

Надійшла (received) 25.05.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 15.08.2018

Концептуальна модель геоінформаційної системи спеціального призначення

О. А. Кошлань

Одним з найважливіших напрямків вирішення завдання удосконалення процесу забезпечення геопросторовою інформацією систем управління військами та зброєю є впровадження в практику управління Збройними Силами України геоінформаційних систем (ГІС) військового призначення, що представляють собою програмно-апаратні комплекси, призначені для збору, обробки, зберігання, аналізу, моделювання та наочного відображення геопросторової інформації, необхідної для підтримки прийняття рішень по управлінню військами в мирний і воєнний час, а також створення цифрових (електронних) карт і виконання військово-прикладних (розрахункових) завдань, пов'язаних з оцінкою оперативно-тактичних властивостей місцевості й плануванням застосування сил (засобів). З цією метою в зазначеній статті автором запропоновано концептуальну модель геоінформаційної системи спеціального призначення. Зазначена модель дозволяє поєднати в єдине ціле погляди дослідників щодо створення та експлуатації геоінформаційних систем спеціального призначення. В ході проведеного дослідження використовувалися класичні методи аналізу та синтезу, методи декомпозиції, математичної статистики, моделювання, складних технічних систем та інш. За результатами проведеного в статті дослідження автором отримано концептуальну модель геоінформаційної системи спеціального призначення. Зазначена модель дозволяє об'єднати окремі теоретичні дослідження, доповнити та удосконалити їх та вийти на новий науковий рівень. Зазначене дослідження може стати новим науковим підґрунтям при розробці нових та удосконаленні існуючих геоінформаційних систем спеціального призначення. Запропонована автором модель дозволяє описати функціонування окремих підсистем геоінформаційної системи спеціального призначення як в цілому та і окремі підсистемами. Практична реалізація розглянутої вище концептуальної моделі ГІС забезпечить надання споживачам геоінформаційних ресурсів всієї інформації, необхідної для управління військами й зброєю. Відмінною рисою ГІС стане диференційованість надання геопросторових даних для різних ланок управління військами та системами озброєння. Інакше кажучи, той або інший орган військового керування буде забезпечуватися тільки тим комплектом геопросторових даних, що необхідний і достатній для рішення завдань за призначенням.

Ключові слова: геоінформаційні системи; математичне моделювання; спеціальні системи; концептуальна модель; Збройні Сили України; аналіз; синтез; декомпозиція; узагальнення.

Концептуальная модель геоинформационной системы специального назначения

А. А. Кошлань

Одним из важнейших направлений решения задачи совершенствования процесса обеспечения геопространственной информации систем управления войсками и оружием является внедрение в практику управления Вооруженных Сил Украины геоинформационных систем (ГИС) военного назначения, представляющие собой программно-аппаратные комплексы, предназначенные для сбора, обработки, хранения, анализа, моделирования и наглядного отображения геопространственной информации, необходимой для поддержки принятия решений по управлению войсками в мирное и военное время, а также создание цифровых (электронных) карт и выполнения военно-прикладных (расчетных) задач, связанных с оценкой оперативно-тактических свойств местности и планированием применения сил (средств). С этой целью в указанной статье автором предложена концептуальная модель геоинформационной системы специального назначения. Указанная модель позволяет объединить в единое целое взгляды исследователей по созданию и эксплуатации геоинформационных систем специального назначения. В ходе проведенного исследования использовались классические методы анализа и синтеза, методы декомпозиции, математической статистики, моделирования, сложных технических систем и др. По результатам проведенного в статье исследования автором получены концептуальную модель геоинформационной системы специального назначения. Указанная модель позволяет объединить отдельные теоретические исследования, дополнить и усовершенствовать их и выйти на новый научный уровень. Данное исследование может стать новым научным основанием при разработке новых и совершенствовании существующих геоинформационных систем специального назначения. Предложенная автором модель позволяет описать функционирование отдельных подсистем геоинформационной системы специального назначения как в целом и отдельные подсистемы. Практическая реализация рассмотренной выше концептуальной модели ГИС обеспечит предоставление потребителям геоинформационных ресурсов всей информации, необходимой для управления войсками и оружием. Отличительной особенностью ГИС станет дифференцированность предоставления геопространственных данных для различных звеньев управления войсками и системами вооружения. Иначе говоря, тот или иной орган военного управления будет обеспечиваться только тем комплектом геопространственных данных, необходимый и достаточный для решения задач по назначению.

Ключевые слова: геоинформационные системы; математическое моделирование; специальные системы; концептуальная модель; Вооруженные Силы Украины; анализ; синтез; декомпозиция; обобщения.

Adaptive control methods

УДК 004.41:004.056

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.07

О. В. Коваленко

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

УДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ НАПІВМАРКОВСЬКОЇ МОДЕЛІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

В роботі проведені дослідження, які показали, що управління ризиком розробки програмного забезпечення включає систему заходів, здійснюваних як до прояву негативної події, так і після його реалізації. Однак превентивний аналіз і облік більшості можливих експлуатаційних помилок дозволить знизити фінансові та інші витрати в життєвому циклі розробки програмного забезпечення. Вже згадана задача управління ризиками розробки програмного забезпечення при певних обмеженнях на заходи з тестування якості та безпеки, сформульована у вигляді напівмарківської моделі прийняття рішень для керованого марківського процесу в безперервному часі і дисконтованими доходами або витратами. При цьому даний вид експлуатаційних ризиків ототожнюється з послідовно з'єднаними незалежними елементами, відновлюваними за кінцевий час. Оптимальна нерандомізована стаціонарна стратегія управління визначена за допомогою псевдобулевих методів бівалентного програмування, знаходячи всі рішення системи обмежень. Удосконалено метод управління ризиками розробки програмного забезпечення на основі напівмарківської моделі прийняття рішень для керованого марківського процесу в безперервному часі. Відмінною особливістю запропонованого методу є використання псевдобулевих методів бівалентного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями для визначення оптимальної стратегії усунення експлуатаційних помилок. Проведені дослідження в роботі показали, що використані теоретичні положення в достатньому обсязі відображають стандарти та можливості сучасних методологій тестування програмного забезпечення. Як приклад розглянуті ситуації виникнення помилок безпеки програмного забезпечення (ПЗ), і визначена оптимальна стратегія управління для усунення зазначеної аномальної ситуації. Представлений в роботі метод доцільно використовувати не тільки при управлінні ризиками безпеки програмного забезпечення, але і при функціональному, навантажувальному, стресовому та інших видах тестування для запобігання можливих втрат.

Ключові слова: управління ризиками; напівмарківська модель; прийняття рішень; псевдобулеві методи бівалентного програмування.

Вступ

Проведені дослідження показали, що управління ризиком розробки ПЗ полягає в завчасному виявленні пов'язаних з ризиком фінансових, технічних, психологічних, і ін. небезпек, і вжиття заходів щодо зниження ризику шляхом цілеспрямованої зміни цих факторів з урахуванням ефективності заходів, що вживаються [1-3]. Управління ризиком розробки ПЗ включає систему заходів, здійснюваних як до прояву негативної події, так і після його реалізації. Однак, як показали дослідження, превентивний аналіз і облік більшості можливих експлуатаційних помилок дозволить знизити фінансові та ін. витрати в життєвому циклі розробки ПЗ.

Аналіз досліджень та постановка завдання. Ряд авторів [1, 2] під терміном "управління ризиком" розуміють розробку і обґрунтування оптимальних програм діяльності, покликаних ефективно реалізовувати рішення в галузі забезпечення безпеки. При цьому головним елементом такої діяльності є процес оптимального розподілу обмежених ресурсів з урахуванням характерних експлуатаційних, економічних і соціальних факторів.

Розглянуту задачу управління ризиками розробки ПЗ при певних обмеженнях на заходи з тестування якості та безпеки, сформулюємо у вигляді напівмарківської моделі прийняття рішень для керованого марківського процесу в безперервному

часі і дисконтованими доходами (з коефіцієнтом в нормальних умовах процесу створення ПЗ) або витратами (в умовах з відхиленнями від плану, пов'язаними з ігноруванням не виявлення вразливостей (помилки) безпеки). При цьому даний вид експлуатаційних ризиків ототожнюються з послідовно з'єднаними незалежними елементами, відновлюваними за кінцевий час.

Оптимальну нерандомізовану стаціонарну стратегію управління визначимо за допомогою псевдобулевих методів бівалентного програмування, знаходячи всі рішення системи обмежень. Ці рішення визначаються на основі алгоритму перетину рішень окремих нерівностей-обмежень, запропонованого в роботі [4] для знаходження базисних рішень системи лінійних нерівностей з булевими змінними.

В таких умовах сформулюємо основну задачу. Нехай кожному стані y $i \in S$, де $S = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ даної системи управління ризиками розробки ПЗ поставлено у відповідність кінцеву множину R_i рішень, елементи якої позначимо як $r = 1, 2, \dots, r_i$. Якщо система знаходиться в стані $i \in S$ і приймається рішення $r = R_i$, то її подальша поведінка визначається імовірнісним законом.

$$Y_{ij}^r(t) = P_{ij}^{(r)} F_{ij}^{(r)}(t), \quad j \in S, \quad (1)$$

де $P_{ij}^{(r)}$ – ймовірність переходу системи із стану в стан i ; $F_{ij}^{(r)}(t)$ – функція розподілу часу перебування системи в стані i при прийнятті рішення r та при умові, що наступний перехід відбудеться в стані j .

При цьому зробимо допущення, що виконані такі умови:

Стан $i = 0$ відповідає нормальному процесу розробки ПЗ, а $i \neq 0$ – ситуація помилки безпеки. Функції $F_{0j}^{(r)}(t)$ і $F_{j0}^{(r)}(t)$, $j \in \tilde{S} = S \setminus \{0\}$, $r \in R_j$ разом зі своїми першими похідними безперервні при $t > 0$, за винятком кінцевого числа точок, і зростають відповідно до експоненціальним законом розподілу.

За одиницю часу перебування в стані i в разі прийняття рішення r витрачається в середньому $k_i^{(r)}$ коштів (при $i \neq 0$ число $k_i^{(r)}$ мінусове і дорівнює витратам системи за одиницю часу перебування в стані i за умови виходу з цього стану з урахуванням рішення r). Величини $|k_i^{(r)}|$ обмежені при всіх $i \in S$, $r \in R_i$ та ймовірності $P_i^{(r)}$ задовольняють співвідношенням:

$$\sum_{j \in S} P_i^{(r)} = 1, \quad i \in S, \quad r \in R_i, \quad P_{ij}^{(r)} \geq 0, \quad i, j \in S, \quad r \in R_i.$$

Таким чином, в кожному стані $i \in S$ є r_i рішень з кінцевої множини R_i . Вибір деякого рішення r з цієї множини R_i у відповідності $i \in S$ означає завдання величин $Y_{ij}^r(t)$, $P_{ij}^{(r)}$, $F_{ij}^{(r)}(t)$, $k_i^{(r)}$, $j \in S$.

При $i = 0$, $R_0 = \{0\}$, ймовірність $P_{0j}^{(r)} \neq 0$, $j \in S$ є ймовірністю переходу у стані j . Ймовірність $P_{0j}^{(r)} \neq 0$, $j \in S$ обчислюється на практиці як доля станів з помилками безпеки типу j в загальній сукупності вразливостей безпеки різних типів на основі даних передісторій процесу розробки ПЗ. В цьому випадку $F_{0j}^{(r)}(t)$ – функція розподілу часу тестової експлуатації ПЗ між виявленими помилками безпеки типу j .

При $i = 1, \dots, N$ для будь-якого $r \in R_i$, $P_{i0}^{(r)} = 1$, $P_{ij}^{(r)} = 0$, $j \neq 0$, функція $F_{i0}^{(r)}(t)$ це функція розподілу часу усунення вразливостей безпеки з використанням рішень r при помилці типу j .

За умови безперервності в часі досліджуваного процесу будемо користуватися переоцінкою експоненціального виду з нормою α , тобто якщо в певний момент часу витрати становлять якусь одиничну величину, то через час t ці витрати вже будуть $e^{-\alpha t}$ одиничних величин.

Тоді якщо k_i – витрата за одиницю часу, то сумарні витрати за час t має вигляд:

$$\int_0^t k_i e^{-\alpha \tau} d\tau = \frac{k_i}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}). \quad (2)$$

Позначимо i_n стан системи після n -го переходу, u_n – прийняте рішення, а τ_n – час перебування в цьому стані ($n = 0, 1, 2, \dots$), i_0 – початковий стан. Допустимо стратегію β для системи управління розробкою ПЗ визначимо як послідовність $\{\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots\}$, де $\beta_n(\bullet / z_n)$ – ймовірнісна міра, зосереджена на функції обмеження $U(S)$ на прийнятті рішення (управління), які визначаються системою нерівностей:

$$\sum_{j \in S} c_{rj} x_{rj} \leq b_r, \quad r \in R = UR_j, \quad j \in S \quad (3)$$

і залежить від історії керованої системи до моменту n -го переходу $z_n = (i_0, u_0, \tau_0, \dots, i_{n-1}, u_{n-1}, \tau_{n-1}, i_n)$. Міра $\beta_n(\bullet / z_n)$ задає рандомізоване правило вибору рішення u_n на основі інформації z_n . Таку стратегію β можна назвати рандомізованою.

Стратегія β є марківською, якщо $\beta_n(\bullet / z_n) = \beta_n(\bullet / i_n)$, де $n = 0, 1, 2, \dots$. Марківська стратегія називається стаціонарною, якщо $\beta_n(\bullet / i_n) = \beta_n(\bullet / i_n)$. Щільність виміру такої стратегії при $i_n = i$, $u_n = r$, ($r \in R_i$) позначимо $d_i^{(r)}$. Якщо стратегія β – марківська стаціонарна, то керований процес є напівмарківським.

Аналіз літератури показав, що найбільш популярна інформація про напівмарківські процеси і керовані напівмарківські моделі з додатковими витратами і дивідендами викладена в роботах [1-4].

Позначимо через $g_i(t, \alpha, \beta)$ сумарні витрати системи, керованої відповідно до стратегії β , з нормою переоцінки α , за час t життєвого циклу розробки ПЗ. Обов'язковою умовою є те, що процес починається в момент $t = 0$ зі стану i . Через $v_i(t, \alpha, \beta) = g_i(t, \alpha, \beta) / t$ позначимо сумарні середні витрати системи за час t за тих самих умов.

Нехай c_{rj} – витрати, пов'язані з реалізацією заходу r в разі події порушення безпеки ПЗ j і x_{rj} – булева змінна: $x_{rj} = 1$, якщо r застосовується при події j , $x_{rj} = 0$ в іншому випадку.

Припустимо, що загальний обсяг коштів, відпущених для усунення недоліків безпеки ПЗ (заходи типу r) обмежений константою b_r , тобто виконується нерівність (3).

Якщо витрати c_{rj} дозволяють виконати кожне з обмежень (3), то реалізована на підставі (3) система визначає в просторі $\mathcal{R}^d$, $d = \dim R$, деяку кінцеву множину дискретних точок. Тоді відповідно до

робіт [5, 6] існує нерандомізована стаціонарна стратегія β^* , звана β - оптимальною, яка мінімізує сумарні середні витрати при довільній стратегії β і нормі переоцінки α ($\alpha > 0$). При цьому $v(\alpha, \beta) \in (N+1) \times 1$ -мірний вектор $(v_0(\alpha, \beta), \dots, v_N(\alpha, \beta))$, де

$$v_i(\alpha, \beta) = \lim_{t \rightarrow \infty} v_i(t, \alpha, \beta), i \in S. \quad (4)$$

Необхідно знайти α - оптимальну нерандомізовану марківську стаціонарну стратегію β^* , яка мінімізує сумарні середні витрати $v(\alpha, \beta)$ при довільному початковому розподілі процесу

$$y = (y_0, y_1, \dots, y_N), \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} y_i = 1, y_i \geq 0, i \in S. \quad (6)$$

Не зменшуючи спільності, в якості початкового розподілу візьмемо вектор $y = (1, 0, \dots, 0)$, тобто початковий стан системи. На основі напівмарківської моделі прийняття рішень це завдання приведемо до еквівалентної задачі бівалентного програмування з використанням псевдобулевих методів.

Метою роботи є удосконалення методу управління ризиками розробки програмного забезпечення на основі напівмарківської моделі прийняття рішень для керованого марківського процесу в безперервний час.

Оптимізаційна стратегія напівмарківських моделей прийняття рішень

Ймовірності переходів розглянутого, для системи розробки ПЗ, напівмарківського процесу прийняття рішень в моменти стрибків з стану i в стан j при прийнятті рішення $r \in R_i$ визначається стохастичною $(N+1) \times (N+1)$ матрицею $P^{(r)} = \{p_{ij}^{(r)}\}$, яка задає вкладений ланцюг Маркова. Елементи $p_{ij}^{(r)}$ при будь-яких $i, j \in S$ і $r \in R_i$ дозволяють визначати за формулою (1) спільну ймовірність $Q_{ij}^{(r)}(t)$ того, що тривалість перебування в стані i не перевищує час t зі стану i при $r \in R_i$ процес переходить в стан j з ймовірністю $p_{ij}^{(r)}$. Функції $Q_{ij}^{(r)}(t)$ в (1) задовольняють умовам

$$Q_{ij}^{(r)}(0) = 0, i, j \in S, r \in R_i, \quad (7)$$

$$\sum_{j \in S} Q_{ij}^{(r)}(\infty) = \sum_{j \in S} p_{ij}^{(r)} = 1, i \in S, r \in R_i. \quad (8)$$

За допомогою матриці $Q_{ij}^{(r)}(t) = \{Q_{ij}^{(r)}(t)\}$ перехідних розподілів, визначимо функцію

$$H_i^{(r)}(t) = \sum_{j \in S} Q_{ij}^{(r)}(t), i \in S, r \in R_i, \quad (9)$$

яка є функцією розподілу часу перебування процесу в стані i при прийнятті рішення $r \in R_i$.

Випадковий процес $(Z_t), t \geq 0$ зі значеннями $Z_t = i$, якщо в момент t система знаходиться в стані i , являється напівмарківським, і задається величинами $N, y, Q_{ij}^{(r)}(t), i, j \in S, r \in R_i$.

Напівмарківський процес називається регулярним, якщо за кінцевий проміжок часу він з ймовірністю $p_p = 1$ перейде в будь-який стан не більше кінцевого числа раз. Таким чином, регулярний напівмарківський процес за кінцевий проміжок часу завжди здійснює лише кінцеве число переходів. Далі в розділі будемо розглядати тільки регулярні напівмарківські процеси.

У разі одноеlementних множин рішень R_i в результаті стандартних для теорії відновлення [7] міркувань отримуємо наступне рівняння відновлення

$$i \in S, v_i(t) = (1 - H_i(t)) \cdot (k_i/\alpha) \cdot (1 - e^{-\alpha t}) + \sum_{j \in S} \int_0^t ((k_i/\alpha)(1 - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} v_j(t - \tau)) dQ_{ij}(\tau),$$

де $v_i(t)$ - короткий запис сумарних середніх витрат $v_i(t, \alpha, \beta)$ за час t .

У випадку кінцевих множин R_i рівняння відновлення з урахуванням ймовірностей $d_i^{(r)}$ прийняття рішень r в стані i запишемо у вигляді

$$i \in S, v_i(t) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)} (1 - H_i^{(r)}(t)) \frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + \sum_{j \in S} \sum_{r \in R_i} \int_0^t d_i^{(r)} \left(\frac{k_i^{(r)}}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) + e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) \right) dQ_{ij}^{(r)}(\tau), \quad (10)$$

де $k_i^{(r)}$ - витрата системи за одиницю часу перебування в стані i при вирішенні $r \in R_i$; $v_j(t)$ - сумарні середні витрати з урахуванням переоцінки (2), за умови, що процес починається при $t = 0$ зі стану j .

Величини $v_i(\alpha, \beta)$ з виразу (4) можна записати у вигляді $v_i(\alpha)$, і для цього рівняння скористатися основними положеннями рівняння (інтеграла) Лапласа-Стілтєса. Відповідно роботам [3, 8] для будь-якої функції $F(t)$, похідна $F'(t)$ якої є функцією-оригіналом, що задовольняє нерівності $F'(t) < Ce^{\alpha t}$ для всіх $t < 0$, при всіх комплексних s , коли $\text{Re } s > \alpha$ існує функція

$$F^*(s) = L_s^* \langle F(t) \rangle = \int_0^\infty e^{-st} dF(t), \quad (11)$$

тобто функція e^{-st} при $\operatorname{Re} s > \alpha$ інтегрована по функції $F(t)$. Функцію $F^*(s)$ називають перетворення Лапласа-Стілтєса функції $F(t)$.

З виразів (8) і (9) випливає, що $H_i^{(r)}(\infty) = 1$, $i \in S, r \in R_i$, тому перша сума в виразі 10 при $t \rightarrow \infty$ зводиться в нуль. Інтегруючи по частинах вираз (11) для $L_s^* \langle F(t) \rangle$, отримуємо

$$sL_s^* \langle F(t) \rangle = L_s^* \langle F(t) \rangle - F(0), \quad (12)$$

де $F(s) = L_s \langle F(t) \rangle = \int_0^\infty e^{-st} F(t) dt$ є перетворення Лапласа функції $F(t)$. Із (12) при $s \neq 0$ знаходимо

$$L_s \langle F(t) \rangle = \frac{1}{s} (L_s^* \langle F(t) \rangle - F(0)). \quad (13)$$

Інтегруємо по частинам з урахуванням виразу (9) та знаходимо

$$\begin{aligned} \sum_j \int_0^t (1 - e^{-\alpha t}) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = \\ = (1 - e^{-\alpha t}) \sum_j dQ_{ij}^{(r)}(\tau) \Big|_0^t - \sum_j \alpha \int_0^t e^{-\alpha \tau} H_i(\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (14)$$

Проводячи перетворення, переходячи у виразі (14) до межі $t \rightarrow \infty$ та застосовуючи (13) для $s = \alpha$, ($\alpha > 0$), з урахуванням співвідношень (7) і (8):

$$\begin{aligned} \sum_j \int_0^t (1 - e^{-\alpha t}) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = (1 - \alpha) L_{s=\alpha} \langle H_i^{(r)}(\tau) \rangle = \\ = 1 - L_{s=\alpha}^* \langle H_i^{(r)}(\tau) \rangle = 1 - h_i^{(r)}(\alpha), \end{aligned} \quad (15)$$

де $h_i^{(r)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^* \langle H_i^{(r)}(t) \rangle$. Застосовуючи до функції

$\Phi_i^{(r)}(t) = \int_0^t e^{-\alpha t} v_j(t - \tau) dQ_{ij}^{(r)}(\tau)$ теорему про

граничний перехід в інтегралі по параметру, від якого залежать границі інтегрування та підінтегральна функція [8], при $t \rightarrow \infty$ отримуємо

$$\Phi_i^{(r)}(\infty) = \int_0^\infty e^{-\alpha t} v_j(\alpha) dQ_{ij}^{(r)}(\tau) = v_j(\alpha) q_{ij}^{(r)}(\alpha), \quad (16)$$

де $q_{ij}^{(r)}(\alpha) = L_{s=\alpha}^* \langle Q_{ij}^{(r)}(\alpha) \rangle$.

Переходячи у виразі (10) до границі при $t \rightarrow \infty$, з урахуванням (15) и (16) отримуємо:

$$v_i(t) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)} \left(\zeta_i^{(r)}(\alpha) \right) + \sum_{j \in S} q_{ij}^{(r)}(\alpha) v_j(\alpha), \quad (17)$$

$$\text{де} \quad \zeta_i^{(r)}(\alpha) = \left(k_i^{(r)} / \alpha \right) \cdot \left(1 - h_i^{(r)}(\alpha) \right). \quad (18)$$

Нехай $\zeta_i(\alpha) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)} \left(\rho_i^{(r)}(\alpha) \right)$ і $\mathfrak{Z}(\alpha) = \left(\zeta_0(\alpha), \dots, \zeta_N(\alpha) \right)^T$, $\wp(\alpha) = \left(v_0(\alpha), \dots, v_N(\alpha) \right)^T$ (T – символ транспонування матриці). Тоді

$$\wp(\alpha) = \mathfrak{Z}_0(\alpha) + q(\alpha) \wp(\alpha), \quad (19)$$

$$\text{де} \quad q(\alpha) = \{ q_{ij}(\alpha) \}, \quad q_{ij}(\alpha) = \sum_{r \in R_i} d_i^{(r)} \left(q_{ij}^{(r)}(\alpha) \right).$$

Із виразу (19) знайдемо

$$\wp(\alpha) = \{ I - q(\alpha) \}^{-1} \mathfrak{Z}_0(\alpha). \quad (20)$$

Даний вираз правильний, тому що при $\alpha > 0$ матриця $\{ I - q(\alpha) \}$ – невинуджена, I – одинична матриця розміру $(N+1) \times (N+1)$.

Помноживши дві частини рівняння (19) зліва на вектор y , отримаємо таке:

$$\begin{aligned} yv(\alpha) = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{r \in R_i} y_i \mu_{ij}(\alpha) \zeta_j^{(r)}(\alpha) d_i^{(r)}, \\ \{ I - q(\alpha) \}^{-1} = \{ \mu_{ij}(\alpha) \}. \end{aligned} \quad (21)$$

Величини $\mu_{ij}(\alpha)$ залежать від $d_i^{(r)}$, $r \in R_i$, $i \in S$, так як елементи матриці $\{ I - q(\alpha) \}$ можна виразити через $d_i^{(r)}$, $r \in R_i$, $i \in S$.

Нехай $\{ d_i^{(r)} \}$ ($r \in R_i$) – нерандомізована марківська стаціонарна стратегія системи розробки ПЗ у стані j . $d_j^{(r)} \in \{0, 1\}$, $\sum_{j \in S} d_j^{(r)} = 1$, і $x_{00} = 1$,

$x_{rj} = d_j^{(r)}$, $r \in R_i$, $j \in \tilde{S}$. Мінімізація витрат (вираз 21) призводить до наступної задачі оптимізації для мулевих змінних $X = \{ x_{rj} \}$, $r \in R_i$, $j \in \tilde{S}$:

$$f(\alpha, X) = \sum_{i \in S} \sum_{j \in \tilde{S}} \sum_{r \in R_i} y_i \mu_{ij}(\alpha, X) \zeta_j^{(r)} x_{rj} \rightarrow \min, \quad (22)$$

$$\text{при} \quad \sum_{r \in R_i} x_{rj} = 1, \quad j \in \tilde{S}, \quad (23)$$

$$\sum_{j \in \tilde{S}} c_{rj} x_{rj} \leq b_r, \quad r \in R_i, \quad j \in \tilde{S}, \quad (24)$$

$$x_{rj} \in \{0, 1\}, \quad j \in \tilde{S}, \quad r \in R_i. \quad (25)$$

Побудова оптимальної нерандомізованої марківської стаціонарної стратегії

Позначимо системи (24), (25) як систему С. Вона являється системою псевдобулевих нерівнос-

тей. Підключивши далі додаткову умову (23) позначимо систему як $\tilde{C}$, а допустимі рішення r -ої нерівності системи C як $X_r^{(k)} = \{x_{r1}^{(k)}, \dots, x_{rN}^{(k)}\}$, $k=1, \dots, k_r$.

Для побудови рішення системи $\tilde{C}$ при відомих допустимих рішеннях кожної нерівності (24) застосуємо наступний підхід. Розв'язки системи $\tilde{C}$ знаходяться у вигляді $Z = \{s_j\}$, $j=1, \dots, N$, де s_j – множина номерів r , для яких допустиме рівняння $x_{rj} = 1$. Рішення знаходяться за m кроків, де m – число обмежень (24). В початковому стані кожна із множин $s_j^{(0)}$ вектора $Z^{(0)}$ включає всі можливі значення $r \in R_j$. На r -му кроці відбувається перетин вектору $Z^{(r-1)}$ з одним із рішень r -ої нерівності. Допускаючи, що r -ій нерівності відповідає $r = r_1$, а також, що α_j являється j -м елементом допустимого рішення даної нерівності, $\alpha_j \in \{0, 1, \phi\}$, де ϕ – невизначений параметр з множини $\{0, 1\}$, можна сформулювати такі правила для r -го кроку алгоритму побудови рішень системи $\tilde{C}$:

1. Якщо α_j не фіксоване, то $s_j^{(r)} = s_j^{(r-1)}$.
2. Якщо $\alpha_j = 1$, то при $r_1 \in s^{(r-1)}$ допускаємо $s^{(r)} = \{r_1\}$, а при $r_1 \notin s^{(r-1)}$ допускаємо $s^{(r)} = \emptyset$.
3. Якщо $\alpha_j = 0$ то $s^{(r)} = s^{(r-1)} / \{r_1\}$. При цьому пересічення сімейств рішень здійснюється з врахуванням додаткових обмежень (23).

На m -му кроці $Z^{(m)} = \{\alpha_1^{(m)}, \dots, \alpha_N^{(m)}\}$, кожна компонента $\alpha_j^{(m)}$ якого є одноелементною множиною $\{r\}$, $r \in R$, $R = \{1, \dots, m\}$ і отже, $Z^{(m)}$ є рішення системи $\tilde{C}$. Виняток становлять випадки, коли $\tilde{C}$ є певним набором чисел r з множини R . В цьому випадку за допомогою поєднання елементів багатозначних компонент з вектора $Z^{(m)}$ можна отримати кілька рішень системи $\tilde{C}$. Потім в результаті знаходимо сукупність всіх рішень системи $\tilde{C}$, з яких вибираємо оптимальне рішення, що доставляє мінімум цільової функції $f(\alpha, X)$. Це рішення може знаходитися різними відовими методами лінійного програмування, або просто шляхом безпосереднього порівняння значень $f(\alpha, X)$ при визначенні X системи $\tilde{C}$.

Чисельна реалізація викладеного методу управління ризиками безпеки індустрії програмного забезпечення для напівмарківської моделі прийняття рішень при аномальних ситуаціях безпеки представлена нижче.

Рекомендації по використанню удосконаленого методу

Розглянемо дві можливі ситуації помилок безпеки ПЗ: ситуація 1 - наявність функціональних помилок ПЗ (функціональні можливості ПЗ, не описані або не відповідають описаним у документації, при використанні яких можливе порушення конфіденційності, доступності або цілісності оброблюваної інформації); ситуація 2 - наявність не функціональних помилок ПЗ (надлишкові ФО і ІВ, переповнення буфера, витоку пам'яті, помилки типів даних, помилки показників та ін.). Альтернативні заходи (спрощено) у разі першої аномальної ситуації такі:

- відгук ПЗ (для усунення помилок);
 - декомпозиція програми і оцінка метрик складності;
 - сигнатурний аналіз.
- У разі наявності не функціональних помилок ПЗ альтернативні заходи наступні:
- відгук ПЗ (для усунення помилок);
 - аналіз показників, залежностей за даними та інтервальний аналіз.

Припустимо, що в обох випадках перший захід (відгук ПЗ) здійснюється за один і той же час $T = 1$ у.е. Тому, з огляду на низьку ціну відповідних функцій тестування в порівнянні зі збитками просте ПЗ, можна вважати перші заходи в обох випадках однаковими за витратами.

Уявимо заходи в разі першої аномальної ситуації в вигляді $R = \{r_1; r_2; r_3\}$, а заходи для усунення другої аномальної ситуації в вигляді $R = \{r_1; r_4\}$. Тоді число елементів системи складе $N = 2$, а загальне число різних заходів для їх усунення $m = 4$.

Так само представимо описані аномальні ситуації j по відношенню з окремими модулями і блоками ПЗ як послідовні з'єднання (по надійності). Помилки (відмови) і їх усунення не впливають на надійність інших модулів і елементів ПЗ. Час усунення помилок не залежить від того, виявляються чи інші помилки в залишкових модулях. Іншими словами, кожна помилка виявляється і усувається незалежно одна від одної.

Позначимо через $F_j(t)$ функцію розподілу часу експлуатації системи між двома послідовними аномальними ситуаціями типу j , а через $G_j^{(k)}(t)$ - функцію розподілу часу усунення помилок після аномальної ситуації типу j при прийнятті рішення r . Будемо вважати, що $F_j(t)$ і $G_j^{(k)}(t)$ підкоряються експоненціальним законам з функціями інтенсивності відповідно λ_j і $\mu_j^{(k)}$:

$$F_j(t) = 1 - e^{-\lambda_j t}, \quad G_j^{(k)}(t) = 1 - e^{-\mu_j^{(k)} t}, \quad (26)$$

де $\lambda_j = 1/T_{j1}$; $\mu_j^{(r)} = 1/T_{j2}$; T_{j1} – середній час експлуатаційного етапу життєвого циклу розробки ПЗ

між двома аномальними ситуаціями типу j ; T_{j2} – середній час відновлюваного етапу життєвого циклу розробки ПЗ після виявлення помилки типу j при рішенні r . Нехай $d_i^{(k)}$ – нерандомізована стаціонарна стратегія системи в стані i ($i \in S$) при рішенні k (ймовірність прийняття рішення r в стані i),

$$d_i^{(r)} \in \{0,1\}, \sum_{k \in K} d_i^{(r)} \in 1, i \in S. \quad (27)$$

Тоді закон розподілу експлуатації і закон розподілу усунення помилок в цілому запишемо як

$$F_j(t) = 1 - e^{-\lambda t}, G_j^{(r)}(t) = 1 - e^{-\mu t},$$

$$\text{де } \lambda = \sum_{j=1}^N \lambda_j; \mu = \sum_{j=1}^N \sum_{r=1}^N d_j^{(r)} \mu_j^{(r)}.$$

Нехай

$$\begin{aligned} T_{11} = 8 \text{ у.е.}, T_{21} = 8 \text{ у.е.}, T_{12}^{(1)} = 1 \text{ у.е.}, T_{12}^{(2)} = 2 \text{ у.е.}, \\ T_{12}^{(3)} = 1 \text{ у.е.}, T_{22}^{(1)} = 1 \text{ у.е.}, T_{22}^{(4)} = 0,5 \text{ у.е.} \end{aligned} \quad (28)$$

Припустимо, що $i = 0$ фіксує нормальний стан, $i = 1$ аномальний стан (ситуація 1), $i = 2$ аномальний стан (ситуація 2); $S = \{0,1,2\}$, $\tilde{S} = \{1,2\}$. У відповідності з (28) і враховуючи (25)-(27) отримаємо:

$$\begin{aligned} F_0(t) = F(t) = 1 - e^{-0,25t}, F_j(t) = 1 - e^{-0,125t}, \\ j = 1,2; G_1^{(1)}(t) = 1 - e^{-t}, G_1^{(2)}(t) = 1 - e^{-0,5t}, \\ G_1^{(3)}(t) = 1 - e^{-t}, G_2^{(1)}(t) = 1 - e^{-t}, G_2^{(4)}(t) = 1 - e^{-2t}. \end{aligned}$$

Нехай витрати від невиконання своїх функцій програмної системи на протязі часу $T = 14$ складуть 70000 у.о. Позначимо через $c_{k,j}$ витрати на захід k в разі аномальної ситуації j . Тоді, нехтуючи витратами на тестування в заході $r = 1$, отримуємо $c_{1,1} = c_{1,2} = c_1 = 70000$ у.о. Нехай далі $c_{2,1} = 300, c_{3,1} = 400, c_{4,2} = 600$ у.о. Будемо вважати, що в стані $i = 0$ прийнято єдине рішення ($r = 0$) - продовжити нормальне функціонування, і в цьому стані задано наступний розподіл ймовірностей:

$$p_{00}^{(0)} = 0,7, p_{01}^{(0)} = 0,1, p_{02}^{(0)} = 0,2. \quad (29)$$

Функції (1) і (9) запишемо як:

$$\begin{aligned} Q_{00}^{(0)}(t) = 0,7(1 - e^{-0,25t}), Q_{01}^{(0)}(t) = 0,1(1 - e^{-0,125t}); \\ Q_{02}^{(0)}(t) = 0,2(1 - e^{-0,125t}), Q_{10}^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), \\ Q_{10}^{(2)}(t) = (1 - e^{-0,5t}), Q_{10}^{(3)}(t) = (1 - e^{-t}), \\ Q_{11}^{(k)}(t) = Q_{12}^{(k)}(t) = 0, \quad (k = 1,2,3), \end{aligned}$$

$$Q_{20}^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), Q_{20}^{(4)}(t) = (1 - e^{-2t});$$

$$H_0^{(0)}(t) = 0,7(1 - e^{-0,25t}) + 0,3(1 - e^{-0,125t}),$$

$$H_1^{(0)}(t) = (1 - e^{-0,25t}), H_1^{(2)}(t) = (1 - e^{-0,5t}).$$

$$H_2^{(1)}(t) = (1 - e^{-t}), H_2^{(4)}(t) = (1 - e^{-2t}), H_1^{(3)}(t) = (1 - e^{-t}).$$

З урахуванням позначень $x_{00} = 1, x_{k,j} = d_j^{(k)}, r \in R_j, j \in \tilde{S}$ матриця $q(\alpha, x) = [q_{i,j}(\alpha, x)] (i, j \in S)$ з $q(\alpha, x) = \sum_{r \in R_j} x_{k,i} q_{i,j}^{(r)}(\alpha) (i, j \in S)$ є такою:

$$q(\alpha, x) = \begin{bmatrix} \frac{0,175}{\alpha + 0,25} & \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} & \frac{0,025}{\alpha + 0,125} \\ \frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} & 0 & 0 \\ \frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{x_{42}}{\alpha + 2} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Знайдемо визначник матриці $[I - q(\alpha, x)]$:

$$\begin{aligned} D(\alpha, x) = -\frac{0,025}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right) + 1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \\ - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{11}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right). \end{aligned}$$

Матриця $[I - q(\alpha, x)]^{-1} = [\mu_{i,j}(\alpha, x)] (i, j \in S)$ має такі елементи:

$$\begin{aligned} \mu_{00}(\alpha, x) = 0, \mu_{01}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,0125}{\alpha + 0,125}, \\ \mu_{02}(\alpha, x) = 1/D(\alpha, x) \cdot (0,025/(\alpha + 0,125)), \\ \mu_{10}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \left(\frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right), \\ \mu_{11}(\alpha, x) = 1/D(\alpha, x) \times \\ \times \left(1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right) \right), \\ \mu_{12}(\alpha, x) = 1/D(\alpha, x) \times \\ \times \frac{0,025}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right), \\ \mu_{20}(\alpha, x) = 1/D(\alpha, x) \cdot (x_{12}/(\alpha + 1) + 2x_{42}/(\alpha + 2)), \\ \mu_{21}(\alpha, x) = \frac{1}{D(\alpha, x)} \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{12}}{\alpha + 1} + \frac{2x_{42}}{\alpha + 2} \right), \\ \mu_{22}(\alpha, x) = 1/D(\alpha, x) \times \\ \times \left(1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0125}{\alpha + 0,125} \left(\frac{x_{11} + x_{31}}{\alpha + 1} + \frac{x_{21}}{\alpha + 0,5} \right) \right). \end{aligned}$$

У виразі (18) $k_i^{(r)}$ приймають такі значення:

$$k_0^{(0)} = 70000 \text{ y.e.}, k_1^{(1)} = -70000 \text{ y.e.}, k_1^{(2)} = -150 \text{ y.e.}, \\ k_1^{(3)} = -400 \text{ y.e.}, k_2^{(1)} = -70000 \text{ y.e.}, k_2^{(4)} = -12000 \text{ y.e.},$$

а величини $\zeta_i^{(r)}$ записуються у вигляді:

$$\zeta_0^{(0)}(\alpha) = \frac{70000}{\alpha} \left(1 - \frac{0,175}{\alpha + 0,25} - \frac{0,0375}{\alpha + 0,125} \right), \\ \zeta_1^{(1)}(\alpha) = -\frac{70000}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \zeta_1^{(2)}(\alpha) = -\frac{150}{\alpha} \left(1 - \frac{0,5}{\alpha + 0,5} \right), \\ \zeta_1^{(3)}(\alpha) = -\frac{400}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \zeta_2^{(1)}(\alpha) = -\frac{70000}{\alpha} \left(1 - \frac{1}{\alpha + 1} \right), \\ \zeta_2^{(4)}(\alpha) = -\frac{1200}{\alpha} \left(1 - \frac{2}{\alpha + 2} \right).$$

Знайдемо рішення системи $\tilde{C}$ за допомогою алгоритму перетину рішень окремих нерівностей (24), вважаючи, що праві частини b_k цих нерівностей відповідають умовам:

$$c_{11} < b_1 < 2c_1, b_2 > c_{21}, b_3 > c_{31}, b_4 > c_{42}. \quad (30)$$

З урахуванням умов (30) знаходимо наступні рішення окремих нерівностей системи $\tilde{C}$:

$$\eta_1 = 1:1-(1,0); 2-(0,1), 3-(0,0); \\ \eta_1 = 2:1-(1,0); 2-(0,0); \\ \eta_1 = 3:1-(1,0); 2-(0,0); \eta_1 = 4:1-(0,1); 2-(0,0).$$

При наявності $Z^{(0)} = \{\{1,2,3\}, \{1,4\}\}$ на останньому кроці алгоритму отримуємо:

$$Z_{1221}^{(4)} = \{\{1\}, \{4\}\}, Z_{1222}^{(4)} = \{\{1\}, \text{пуста множина}\}, \\ Z_{2121}^{(4)} = \{\{2\}, \text{пуста множина}\}, Z_{2122}^{(4)} = \{\{2\}, \{1\}\}, \\ Z_{2211}^{(4)} = \{\{3\}, \text{пуста множина}\}, Z_{2212}^{(4)} = \{\{3\}, \{1\}\}, \\ Z_{3121}^{(4)} = \{\{2\}, \{4\}\}, Z_{3122}^{(4)} = \{\{2\}, \text{пуста множина}\}, \\ Z_{3211}^{(4)} = \{\{3\}, \{4\}\}, Z_{3212}^{(4)} = \{\{3\}, \text{пуста множина}\}.$$

Таким чином, рішенням системи $\tilde{C}$ є вектори:

$$1-\{\{1\}, \{4\}\}, 2-\{\{2\}, \{1\}\}, 3-\{\{3\}, \{1\}\}, \\ 4-\{\{2\}, \{4\}\}, 5-\{\{3\}, \{4\}\}.$$

Їм відповідають такі значення булевих змінних

$$\{x_{k,j}\}: x_{1,1} = 1, x_{4,2} = 1; x_{2,1} = 1, x_{1,2} = 1; \\ x_{2,1} = 1, x_{4,2} = 1; x_{3,1} = 1, x_{1,2} = 1; x_{3,1} = 1, x_{4,2} = 1.$$

Не вказані змінні у кожному i -му рішенні дорівнюють нулю.

З урахуванням виразів (28) і (29) $f(\alpha, x)$ при $\alpha = 0,1$, що відповідає інфляції, що дорівнює 10%, і початковому розподіленні $y = (1,0,\dots,0)$ приймає значення: $f_1 = -51903$; $f_2 = -5329040$; $f_3 = -17161$; $f_4 = -26939$; $f_5 = -3325$.

Таким чином, при $\alpha = 0,1$ і $y = (1,0,\dots,0)$ оптимальною нерандомізованою марковською стаціонарною стратегією буде стратегія $x_{1,1} = 0, x_{2,1} = 0, x_{3,1} = 1, x_{1,2} = 0, x_{4,2} = 1$, що відповідає рішенню $\{\{3\}, \{4\}\}$ системи $\tilde{C}$.

Висновки

У розділі удосконалено метод управління ризиками розробки ПЗ. В основу даного методу було покладено напівмарківську модель прийняття рішень для керованого марківського процесу в безперервному часі. Відмінною особливістю запропонованого методу є використання псевдобулевих методів бівалентного програмування з нелінійною цільовою функцією і лінійними обмеженнями для визначення оптимальної стратегії усунення експлуатаційних помилок.

Проведені дослідження показали, що використані в даному розділі теоретичні положення в достатньому обсязі відображають стандарти та можливості сучасних методологій тестування ПЗ.

Слід зауважити, що представлений в розділі метод доцільно використовувати не тільки при управлінні ризиками безпеки ПЗ, але і при функціональному, навантажувальному, стресовому та інших видах тестування для запобігання можливих витрат.

Подальші дослідження направлені на розробку комплексу математичних моделей технології тестування WEB-застосунків, на розробку математичних моделей технології тестування DOM XSS уразливості і технології тестування уразливості до SQL ін'єкцій на основі підходу GERT-мережевого синтезу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Krishnan M. Soumya Software Development Risk Aspects and Success Frequency on Spiral and Agile Model. International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering (An ISO 3297: 2007). 2015. № 3 (1). P.301-310.
2. Zeng Y. Risk Management For Enterprise Resource Planning System Implementations in Project-Based Firms : dis. for the degree of PHD. Maryland, 2010. 210 p.
3. Бриткин А. И. Риски, связанные с внедрением технологий, в проектах разработки программного обеспечения. Социально-экономические и технические системы. 2007. № 8 (42). С. 156-168
4. Будников С.А. Полумарковская модель сложного конфликта радиоэлектронных систем. Методы и средства управления технологическими процессами: работы межд. Кон (Саранск, 19 – 21 ноября 2009 г.). Саранск, 2009. С. 201-223.
5. Коваленко А.В., Смирнов А.А., Коваленко А.С. Задачи распознавания ситуаций в ERP системах. Системы обработки информации. 2014. №4(120). С. 161-164
6. Коваленко А.В., Смирнов А.А. Методы качественного анализа и количественной оценки рисков разработки программного обеспечения. Системы обработки информации. 2016. №5(142). С. 153-157
7. Смирнов О.А., Коваленко О.В., Мелешко С.В. Инженерия программного обеспечения. К.: ПВЛ КНТУ, 2013. 409 с.
8. Jacques J., Raimondo M. Semi-Markov risk models for finance, insurance and reliability Boston, Ma : Springer Science + Business Media LLC. 2007.

REFERENCES

1. Krishnan, M. Soumya (2015), "Software Development Risk Aspects and Success Frequency on Spiral and Agile Model", *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, No. 3 (1), pp.301-310.
2. Zeng, Y. (2010), *Risk Management For Enterprise Resource Planning System Implementations in Project-Based Firms*, dis. for the degree of PHD, Maryland, 210 p.
3. Britkin, A.I. (2007), "Risks associated with the introduction of technologies in software development projects", *Social'no-ekonomicheskie i tehnicheckie sistemy*, No. 8 (42), pp. 156-168.
4. Budnikov, S.A. (2009), "Semi-Markov model of complex conflict of radio electronic systems", *Metody i sredstva upravleniya tehnologicheskimi processami*, Saransk, pp. 201-223.
5. Kovalenko, O.V., Smirnov, O.A. and Kovalenko, A.S. (2014), "Problems of recognition of situations in ERP systems", *Sistemi obrobki informacii*, No. 4(120), pp. 161-164/
6. Kovalenko, O.V. and Smirnov A.A. (2016), "Methods for qualitative analysis and quantification of software development risks", *Sistemi obrobki informacii*, No. 5(142), pp. 153-157.
7. Smirnov, O.A., Kovalenko, O.V. and Meleshko E.V. (2013), *Software Engineering: Training Guide*, KNTU, Kyiv, 409 p.
8. Jacques, J. and Raimondo M. (2007), "Semi-Markov risk models for finance, insurance and reliability", Springer Science + Business Media LLC, Boston.

Надійшла (received) 07.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.08.2018

**Усовершенствованный метод управления рисками программного обеспечения
на основе полумарковской модели принятия решений**

О. В. Коваленко

В работе проведены исследования, которые показали, что управление риском разработки программного обеспечения включает систему мероприятий, осуществляемых как до проявления негативного события, так и после его реализации. Однако превентивный анализ и учет большинства возможных эксплуатационных ошибок позволит снизить финансовые и другие затраты в жизненном цикле разработки программного обеспечения. Рассматриваемая задача управления рисками разработки программного обеспечения при определенных ограничениях на мероприятия по тестированию качества и безопасности, сформулирована в виде полумарковской модели принятия решений для управляемого марковского процесса в непрерывном времени и дисконтированными доходами или расходами. При этом данный вид эксплуатационных рисков отождествляются с последовательно соединенными независимыми элементами, восстанавливаемыми за конечное время. Оптимальная нерандомизированная стационарная стратегия управления определена с помощью псевдобулевых методов бивалентного программирования, находя все решения системы ограничений. Усовершенствован метод управления рисками разработки программного обеспечения на основе полумарковской модели принятия решений для управляемого марковского процесса в непрерывном времени. Отличительной особенностью предложенного метода является использование псевдобулевых методов бивалентного программирования с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями для определения оптимальной стратегии устранения эксплуатационных ошибок. Проведенные исследования в работе показали, что используемые теоретические положения в достаточном объеме отражают стандарты и возможности современных методологий тестирования программного обеспечения. В качестве примера рассмотрены ситуации возникновения ошибок безопасности ПО, и определена оптимальная стратегия управления для устранения указанной аномальной ситуации. Представленный в работе метод целесообразно использовать не только при управлении рисками безопасности программного обеспечения, но и при функциональном, нагрузочном, стрессовом и других видах тестирования для предотвращения возможных потерь.

Ключевые слова: управление рисками; полумарковская модель; принятия решений; псевдобулевы методы бивалентного программирования.

**Improved method of software risk management
based on the semi-Markov decision-making model**

O. Kovalenko

The studies carried out in this work showed that risk management of software development includes a system of activities carried out both before the appearance of a negative event, and after its occurrence. However, preventive analysis and consideration of the majority of possible operational errors will reduce financial and other costs in the life cycle of software development. The considered task of risk management of software development under certain restrictions on quality and safety testing activities is formulated as a semi-Markov decision-making model for a managed Markov process in continuous time and discounted income or expenses. In this case, this type of operational risks are identified with sequentially connected independent elements that are restored in a finite time. The optimal non-randomized stationary control management strategy is defined using pseudo-Boolean methods of bivalent programming, finding all solutions of the constraint system. Objective: to improve the method of risk management of software development on the basis of a semi-Markov decision-making model for a managed Markov process in continuous time. A distinctive feature of the proposed method is the use of pseudo-Boolean methods of bivalent programming with a nonlinear objective function and linear constraints to determine the optimal strategy for eliminating operational errors. The research conducted in the work showed that the applied theoretical positions sufficiently reflect the standards and capabilities of modern software testing methodologies. As an example, the situation of the occurrence of software security errors is considered, and an optimal control strategy for eliminating the indicated anomalous situation is determined. The method presented in the work can be used not only for managing software security risks, but also for functional, load, stress, and other types of testing to prevent possible losses.

Keywords: risk management; semi-Markov model; decision-making; pseudo-Boolean methods of bivalent programming.

Д. А. Пасько, Г. І. Молчанов, В. В. Давидов

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

УПРАВЛІННЯ НЕОБМЕЖЕНОЮ КІЛЬКІСТЮ ХМАРНИХ СХОВИЩ

Предметом статті є дослідження можливості створення зручного механізму управління процесом збереження даних з використанням необмеженої кількості хмарних сховищ. **Метою** є дослідження методів оптимізації і спрощення управління процесом збереження даних з використанням необмеженої кількості хмарних сховищ. **Завдання:** розробити архітектуру програмного комплексу для управління розміщенням даних у найпоширеніших хмарних сховищах; обрати ефективний алгоритм роботи при виборі сховища для збереження даних; виконати тестування програмного продукту. Використовуваними **методами** є: спостереження за пропускнуою здатністю хмарних файлових сховищ; порівняння зручності використання функціоналу хмарних сервісів; вимір завантаженості сховища та перевірка наявності вільного простору; експеримент по створенню програми управління хмарними сховищами. Отримано такі **результати**. Обґрунтовано спосіб вибору сховища для вивантаження даних. Розроблено програмне забезпечення, яке надає можливість об'єднати необмежену кількість хмарних сховищ у єдиний простір та надати можливість зручного управління та надання необхідної інформації для користувача. Результатом дослідження є розробка програмного комплексу, який виступає в ролі концентратора для хмарних сховищ, а також реалізація методів вибору сховища для вивантаження файлів, заснованих на оцінці проценту вільного простору кожного сховища та функції балансування завантаженості сховищ даними. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: досліджено існуючі методи збереження даних у хмарних сховищах; удосконалено метод гібридного збереження даних за рахунок об'єднання необмеженої кількості сховищ у єдиний простір під централізованою системою управління. Розроблено систему вибору сховища для вивантаження файлів, що заснована на оцінці та порівнянні проценту вільного простору, частоти використання і середнього часу доступу. Розроблено алгоритм балансування завантаженості хмарних сховищ даними. Проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість використання запропонованого підходу для зручного управління необмеженою кількістю хмарних сховищ.

Ключові слова: хмарні сховища; гібридне хмарне сховище; хмарні технології; Google Drive; Google Drive API; Mega; Mega API; публічні хмари; об'єднання хмарних сховищ.

Вступ

Постановка проблеми. У наш час розвиток цифрових технологій не стоїть на місці. І щоб відповідати сучасним стандартам потрібно постійно вдосконалювати обладнання і методи зберігання інформації. Також постійно виникає питання зручності та доступності використання даних. Дані можуть зберігатися в локальних сховищах, на жорстких дисках комп'ютерів, на переносних пристроях або в хмарних сховищах. Зберігання даних в «хмарах» вирішує питання зручності та доступності, тому що в такому випадку дані стають доступні з будь-якої точки світу, де є підключення до Інтернету. В разі використання хмарних сервісів всі дані зберігаються на віддалених серверах, а користувач, маючи гарну швидкість Інтернету, може працювати з ними так, ніби вони перебувають у нього на комп'ютері.

Способи організації хмарного сховища бувають різні, але суть у всіх одна – надати користувачу віддалений доступ до даних. Хмарні сервіси бувають публічними, приватними або гібридними. Приватні сервіси дозволяють користувачу налаштувати хмарне сховище повністю під себе, легко регулюючи обсяги і будь-які інші параметри, такі як пропускання здатність і тому подібне. Публічні сервіси накладають обмеження на управління хмарию і завжди мають обмежений безкоштовний обсяг пам'яті. Гібридні ж, в свою чергу, об'єднують в одну систему і приватні і публічні хмари з метою балансування навантаження на приватне сховище, за рахунок використання публічного, або для резервного копіювання деяких даних.

Аналіз літератури [1, 2] показав, що існує багато онлайн-сервісів, які надають безкоштовно деякий обсяг простору. Зазвичай це близько 10 гігабайт, і для використання більшого обсягу простору треба платити щомісяця, в середньому, близько 10 доларів. До переваг існуючих методів збереження інформації у хмарах можна віднести надійність, своєчасність отримання і доступність даних в «хмарі», яка дуже сильно залежить від багатьох проміжних параметрів, таких як: канали передачі даних на шляху від клієнта до «хмари», надійність останньої милі, якість роботи Інтернет-провайдерів клієнта, доступність самої «хмари» в даний момент часу. До недоліків можна віднести щомісячну абонентську плату за використання сервісів, а також загальну продуктивність при роботі з даними в «хмарі», яка може бути нижче, ніж при роботі з локальними копіями даних.

Основним методом усунення зазначених недоліків є вдосконалення технології хмарного збереження даних за рахунок балансування заповнення хмарних сховищ інформацією. Також, для покращення швидкості обробки файлів, вводиться кешування файлів, доступ до яких найчастіший. Для вирішення проблем з абонентською платою можна використовувати цей програмний комплекс.

У [3, 4] наведено лише опис вже існуючих технологій та способів збереження даних у хмарах, що лягли в основу комплексу об'єднання сховищ.

Метою статті є дослідження можливості оптимізації і спрощення управління процесом збереження даних з використанням необмеженої кількості хмарних сховищ.

Результати розробки та досліджень

Для розробки програмного комплексу управління процесом збереження даних було використано два хмарних сервіси: Google Drive та Mega.

Google Drive – це служба зберігання і синхронізації файлів, розроблена компанією Google [5]. Google Диск дозволяє користувачам зберігати файли на своїх серверах, синхронізувати файли на різних пристроях і обмінюватися файлами. Google Диск пропонує користувачам 15 гігабайт безкоштовного сховища та інші розміри, пропоновані за допомогою додаткових платних планів. Щоб підключити користувача до системи, потрібно включити використання API для його облікового запису [6], створивши ідентифікатор клієнта OAuth 2. Після цього, обліковий запис можна додавати до програми разом з раніше створеним файлом ідентифікатора.

Mega – файлообмінник з шифруванням даних [7]. Mega шифрує весь контент прямо в браузері за допомогою алгоритму AES. Користувачі можуть передавати один одному файли в зашифрованому вигляді, при цьому всі дані зберігаються в «хмарі». Mega надає 15 ГБ безкоштовного розміру (50 ГБ у перший місяць користування), а також інші платні плани для збільшення розміру сховища. Підключення до програми виконується введенням логіну і паролю від облікового запису до програми.

Для об'єднання сховищ у єдину систему, спочатку потрібно було вирішити питання зберігання структури даних, у якому вигляді представляти та відображувати файли. Зберігати файли було вирішено у тому виді, в якому вони завантажувалися з хмарних сервісів – у вигляді списків. Відображувати файли було вирішено в одному з найпоширеніших способів – у вигляді дерева. Кожен файл має інформацію про «родичів», тому легко можна створити дерево. Дерево створюється за допомогою рекурсії, виконується пошук для кожної папки кореневого каталогу його дітей, та створення нової гілки, після цього рекурсивно виконується пошук дітей для кожного попереднього елемента і так далі, поки дерево не буде створено.

При об'єднанні сховищ, ми будемо використовувати раніше створені дерева для кожного сховища. Об'єднання сховищ робиться теж рекурсивно, як і створення дерев. При об'єднанні не створюється нового дерева, а додаються нові гілки у дерево головного сховища (яке було обрано заздалегідь). Завдяки цьому не потрібно рекурсивно продивлятися усі гілки сховища, з яким робиться об'єднання, тому що, при додаванні у головне дерево, додається гілка з усією своєю структурою і дітьми.

Алгоритм об'єднання:

1. Перевіряємо, чи є у кореневому каталозі головного сховища папка з такою ж назвою, як і в сховищі донора.

2. Якщо така папка існує, то робимо помітку в структурі цієї папки головного сховища, указуючи, що вона належить обом сховищам (додаємо логін сховища, якому вона теж належить) і переходимо до кроку №3. Якщо ж такої папки не існує, просто додаємо її до головного сховища і переходимо порівнюва-

ти іншу папку сховища-донора з папкою сховища-реципієнта.

3. Рекурсивно передаємо дітей обох сховищ (головного і донора) до цього методу, тобто повертаємося на крок №2, але вже порівнюємо дітей, тобто спускаємося на рівень вниз по дереву. Коли ми дійдемо до кінця дерева, тобто дітей не залишиться, алгоритм закінчується.

Об'єднання дерев робиться, доки не буде зроблено об'єднання з усіма деревами. Після цього, на екран користувача виводиться єдина структура дерева з папками з усіх сховищ.

Алгоритм завантаження файлів у сховища складається з двох етапів. Перший - користувач обирає необхідні файли для відправлення у сховища, та перетягує їх у зони відправлення файлів (рис. 1), у якій вони відображаються після додавання.

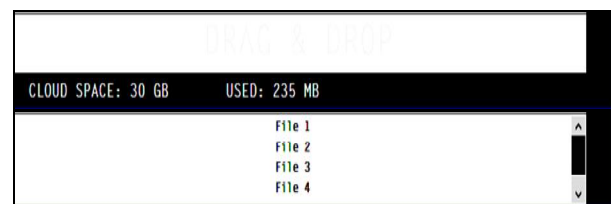


Рис. 1. Файли у зоні відправлення

Після цього, настає другий етап – оцінка сховища, у яке буде відправлено файли. Етап ґрунтується на оцінці проценту вільного простору на диску. Оцінюється не розмір вільної пам'яті, а процент вільного простору, тому що у хмарних сервісів може бути різний розмір пам'яті, яку вони надають користувачу. Таким чином легко можна балансувати завантаження даними усіх сховищ.

На рис. 2 можна побачити завантаженість даними у процентному відношенні сховищ, які використовуються у програмі, а у табл. 1 наведено інформацію про вільне місце у гігабайтах.

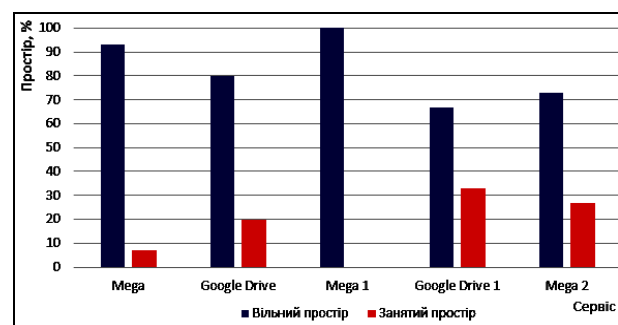


Рис. 2. Стан сховищ до завантаження файлів

Таблиця 1. Стан простору сховищ до завантаження файлів

Сховище	Вільний простір, ГБ	Занятий простір, ГБ
Mega	14	1
Google Drive	12	3
Mega 1	15	0
Google Drive 1	10	5
Mega 2	11	4

Після того, як було отримано інформацію про завантаженість сховищ, файли починають відправлятися до сховищ (рис. 3).

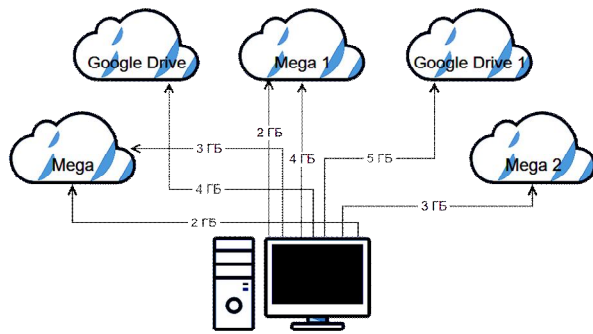


Рис. 3. Почергове відправлення файлів у сховища

Після відправлення 7 файлів розміром 2 ГБ, 3 ГБ, 4 ГБ, 4 ГБ, 5 ГБ, 3 ГБ, 2 ГБ, наповненість сховищ виглядає наступним чином (див. рис. 4), а у табл. 2 можна побачити стан простору сховищ після завантаження файлів.

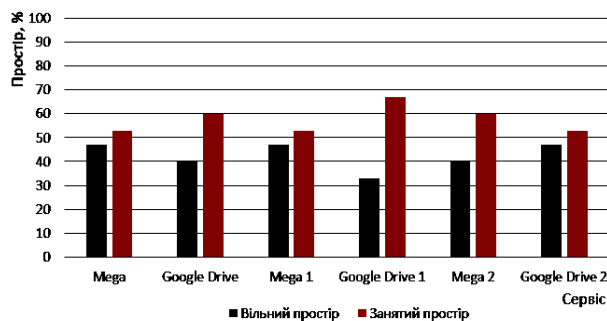


Рис. 4. Стан сховищ після завантаження файлів

Таблиця 2. Стан простору сховищ після завантаження файлів

Сховище	Вільний простір, ГБ	Занятий простір, ГБ
Mega	9	6
Google Drive	8	7
Mega 1	9	6
Google Drive 1	5	10
Mega 2	8	7

Можна побачити, що алгоритм розподілення даних по сховищам, майже рівномірно заповнив усі сховища файлами. На етапі відправлення 5-го та 6-го файлів декілька сховищ мали рівний вільний обсяг, але файли були відправлені до сховища Google Drive 1 та Mega 2 відповідно, тому що до цього моменту туди нічого не відправлялося.

Алгоритм оцінки вільного простору при відправленні файлів було обрано, тому що для балансування завантаженості всіх сховищ, які підключені до програми, цей спосіб є оптимальним. Він надає можливість рівномірно розподіляти дані, та допомагає зменшити вплив однієї з проблем використання хмарних сховищ, а саме – проблему недоступності схо-

вища. Коли дані розподілені рівномірно, то зменшується шанс втратити усю інформацію, як в ситуації, якщо вона би зберігалася лиш на одному сховищі. При недоступності хмарного диску (технічні проблеми, загублення паролю) ми будемо мати доступ до інших сховищ, і до інформації, яка там розподілена.

Також, було розроблено алгоритм балансування розподілення даних в разі, коли додається новий акаунт до системи. Алгоритм надає можливість збалансувати навантаження на усі сховища, якщо один з облікових записів перевантажений чи вільний.

Додамо до нашої системи повністю заповнений акаунт Google Drive сховища (рис. 5), в табл. 3 наведено стан розміру сховищ після додавання облікового запису.

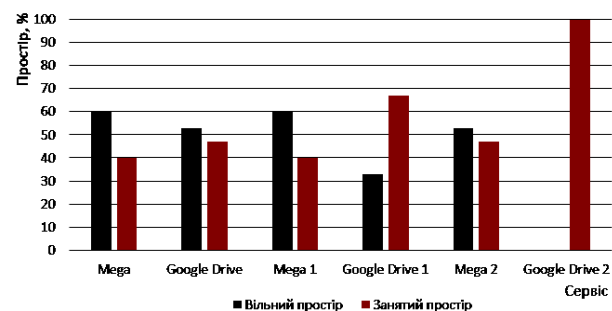


Рис. 5. Заповнення сховищ після додавання нового облікового запису

Таблиця 3. Стан простору сховищ після додавання нового облікового запису

Сховище	Вільний простір, ГБ	Занятий простір, ГБ
Mega	9	6
Google Drive	8	7
Mega 1	9	6
Google Drive 1	5	10
Mega 2	8	7
Google Drive 2	0	15

Для балансування навантаження даними у системі, кількість даних, які потрібно відправити в інші сховища, з округленням в менший бік буде розраховано за формулою: $S = M / N$, де M – розмір даних, які потрібно розподілити по сховищам, а N – кількість хмарних сховищ.

Після того, як розмір даних, які потрібно відправляти у кожне сховище розраховано, починається відправка файлів до інших сховищ. Вона відбувається, доки завантаженість хмарних дисків не буде майже рівною. За формулою, програма буде розподіляти по сховищам по 2 ГБ даних. Схематичний процес балансування зображено на рис. 6.

Результат балансування зображено на рис. 7, а у табл. 4 можна побачити стан розміру сховищ після балансування.

В результаті балансування, дані були відправлені в Mega 1 – 2 ГБ, Mega – 2 ГБ, Google Drive – 2 ГБ, та Mega 2 – 2 ГБ.

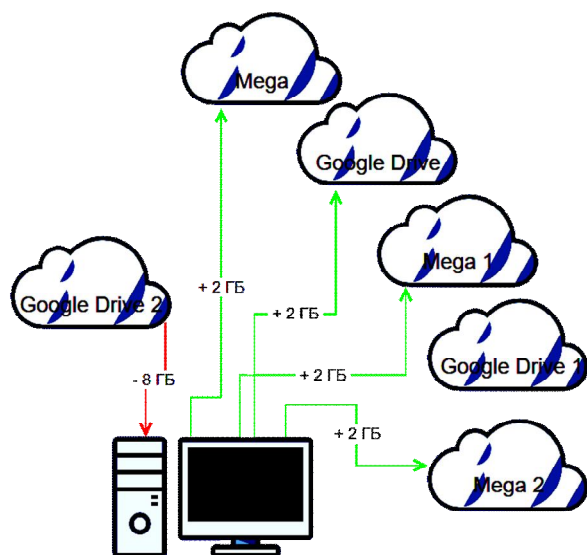


Рис. 6. Балансування завантаженості хмарних сховищ

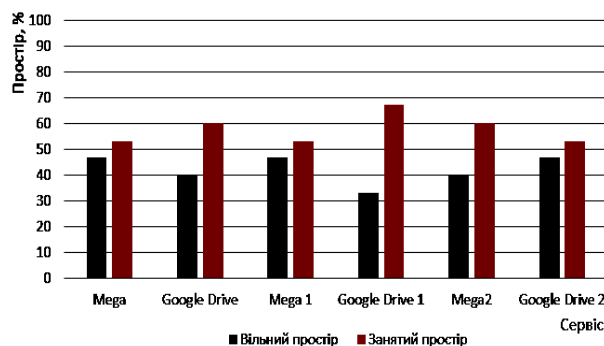


Рис. 7. Стан сховищ після балансування файлів

Таблиця 4. Стан простору сховищ після балансування даних

Сховище	Вільний простір, ГБ	Занятий простір, ГБ
Mega	7	8
Google Drive	6	9
Mega 1	7	8
Google Drive 1	5	10
Mega 2	6	9
Google Drive 2	7	8

Висновки

В роботі виконано дослідження можливості створення централізованої системи управління хмарними сховищами та розроблено програмний комплекс для об'єднання необмеженої кількості найпоширеніших хмарних сервісів Google Drive та Mega. На рис. 8 зображено інтерфейс програми.

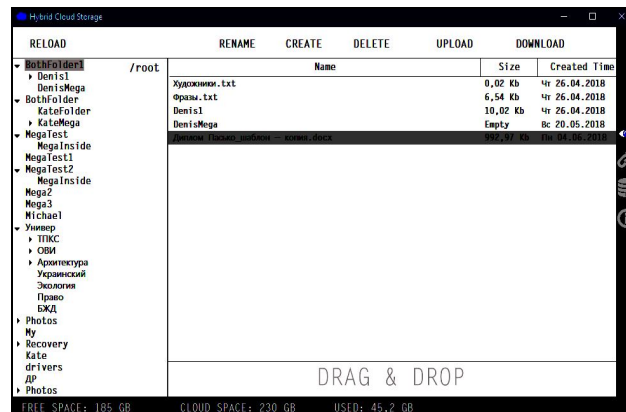


Рис. 8. Інтерфейс програмного комплексу для управління сховищами

Обґрунтовано вибір алгоритму управління процесом збереження даних.

Удосконалено існуючі алгоритми збереження даних у хмарних сховищах за рахунок можливості об'єднання необмеженої кількості облікових записів сховищ та балансування завантаженості кожного за рахунок реалізації алгоритму оцінювання процентного відношення місця у сховищах.

Був розроблений та реалізований алгоритм поєднання сховищ для зручного управління та відображення файлів користувача.

Розроблено алгоритм балансування завантаженості даними сховищ при додаванні нового облікового запису, як незаповненого так і вже заповненого даними. Балансування можна виконати за бажанням користувача.

Проведені дослідження підтверджують, що наведена організація сховищ підвищує стабільність збереження даних, а також надає можливість мати великий розмір хмарного сховища безкоштовно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tucha [Електронний ресурс]: Гібридне сховище. – Режим доступу: <http://tucha.ua/blog/gibridnoe-oblako/>
2. Сервіоніка [Електронний ресурс]: Гібридне сховище. – Режим доступу: <http://servionica.ru/services/138/>
3. ZDNet [Електронний ресурс]: Hybrid cloud: What it is, why it matters. – Режим доступу: <http://www.zdnet.com/article/hybrid-cloud-what-it-is-why-it-matters/>
4. The NIST Definition of Cloud Computing – Mell, Peter and Grance, Timothy, 2011 – 6 с.
5. Wikipedia [Електронний ресурс]: – Google Drive. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Drive
6. Google [Електронний ресурс]: – Enable API. – Google. Дата звернення: 17.05.2018. – Режим доступу: <https://console.developers.google.com/flows/enableapi?apiid=drive>
7. Wikipedia [Електронний ресурс]: – Mega. Дата звернення: 13.05.2018. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mega_\(service\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mega_(service))
8. Google [Електронний ресурс]: – Google Drive API v3. – Google. Дата звернення: 14.05.2018. – Режим доступу: <https://developers.google.com/drive/api/v3/quickstart/dotnet>
9. Mega [Електронний ресурс]: – Mega cloud storage API. – MEGA. Дата звернення: 14.05.2018. – Режим доступу: <https://gpallier.github.io/MegaApiClient/articles/faq.html>
10. Інтеграція – основа хмари. Відкриті системи. СУБД – Леонід Черняк, 2011.

REFERENCES

1. Tucha, *Hybrid storage*, available at: <http://tucha.ua/blog/gibridnoe-oblako/> (last accessed March 15, 2018).
2. Servio, *Hybrid storage*, available at: <http://servionica.ru/services/138/> (last accessed March 15, 2018).
3. ZDNet, *Hybrid cloud: What is it, why it matters*, available at: <http://www.zdnet.com/article/hybrid-cloud-what-it-is-why-it-matters/> (last accessed March 15, 2018).
4. Mell, Peter and Grance, Timothy (2011), *The NIST Definition of Cloud Computing*, 6 p.
5. Wikipedia, *Google Drive*, available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Google_Drive (last accessed March 15, 2018).
6. Google, *Enable API Google*, available at: <https://console.developers.google.com/flows/enableapi?apiid=drive> (last accessed March 15, 2018).
7. Wikipedia, *Mega*, available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mega_\(service\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mega_(service)) (last accessed March 15, 2018).
8. Google, *Google Drive API v3*, available at: <https://developers.google.com/drive/api/v3/quickstart/dotnet> (last accessed March 15, 2018).
9. Mega, *Mega cloud storage API*. – MEGA, available at: <https://gpallier.github.io/MegaApiClient/articles/faq.html> (last accessed March 15, 2018).
10. Leonid Chernyakh (2011), *Integration is the basis of the cloud. Open systems. DBMS*.

Надійшла (received) 13.07.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 29.08.2018

Управление неограниченным количеством облачных хранилищ

Д. А. Пасько, Г. И. Молчанов, В. В. Давыдов

Предметом статьи является исследование возможности создания удобного механизма управления процессом хранения данных с использованием неограниченного количества облачных хранилищ. **Целью** является исследование методов оптимизации и упрощения управления процессом хранения данных с использованием неограниченного количества облачных хранилищ. **Задача:** разработать архитектуру программного комплекса для управления размещением данных в самых распространенных облачных хранилищах; выбрать эффективный алгоритм работы при выборе хранилища для размещения данных; выполнить тестирование программного продукта. Используемыми **методами** являются: наблюдение за пропускной способностью облачных файловых хранилищ; сравнения удобства использования функционала облачных сервисов; измерение загруженности хранилища и проверка наличия свободного пространства; эксперимент по созданию программы управления облачными хранилищами. Получены следующие **результаты**. Обоснован способ выбора хранилища для загрузки данных. Разработано программное обеспечение, которое позволяет объединить неограниченное количество облачных хранилищ в единое пространство, а также предоставляет возможность удобного управления и получения необходимой информации для пользователя. Результатом исследования является разработка программного комплекса, который выступает в роли концентратора для облачных хранилищ, а также реализация методов выбора хранилища для загрузки файлов, основанных на оценке процента свободного пространства каждого хранилища и функции балансировки загруженности хранилищ данными. **Выводы.** Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: исследованы существующие методы сохранения данных в облачных хранилищах; усовершенствован метод гибридного хранения данных за счет объединения неограниченного количества хранилищ в единое пространство под централизованной системой управления. Разработана система выбора хранилища для загрузки файлов, основанная на оценке и сравнении процента свободного пространства, частоты использования и среднего времени доступа. Разработан алгоритм балансировки загруженности облачных хранилищ данными. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность использования предложенного подхода для удобного управления неограниченным количеством облачных хранилищ.

Ключевые слова: облачные хранилища; гибридное облачное хранилище; облачные технологии; Google Drive; Google Drive API; Mega; Mega API; публичные облака; объединение облачных хранилищ.

Unlimited cloud storage management

D. Pasko, H. Molchanov, V. Davydov

The **subject** of the article is the management of the data storage process using an unlimited number of cloud storages. The **goal** is to study the possibility of optimizing and simplifying the management of the data storage process using an unlimited number of cloud storages. **Objective:** develop the architecture of a software package for managing the placement of data in the most common cloud storages; select the most efficient storage selection algorithm for storing data; perform software testing. The **methods** used are: monitoring the throughput of cloud file storage; comparing the usability of the cloud services functionality; measuring storage load and checking for free space; experimental creation of cloud storage management software. The following **results** have been obtained. The storage selection mechanism for loading data is described. Developed software for uniting in a single space and convenient management of an unlimited number of cloud storage. The result of the research is the development of a software package that acts as a hub for cloud storage. Methods for selecting storage for uploading files based on an estimate of the percentage of free space of each storage and the function of load balancing of storage data are implemented. **Conclusions.** The scientific novelty of the results is as follows. Investigated the existing methods of storing data in the cloud storage. The method of hybrid data storage has been improved by combining an unlimited number of storages into a single space under a centralized management system. A system for selecting storage for uploading files has been developed which is based on estimating and comparing the percentage of free space with the frequency of use and average access time. An algorithm for balancing the workload of cloud storage has been developed. The conducted experimental studies confirm the possibility of using the proposed approach for convenient management of an unlimited number of cloud storages.

Keywords: cloud storage; hybrid cloud storage; cloud technology; Google Drive; Google Drive API; Mega; Mega API; public clouds; cloud storages union.

О. В. Чала

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

ПОБУДОВА ТЕМПОРАЛЬНИХ ПРАВИЛ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ СИСТЕМАХ

Предметом вивчення в статті є процеси побудови представлення знань в інформаційно-управляючих системах на основі темпоральних залежностей, що задають послідовність виконання дій на комплексному об'єкті управління. **Мета** полягає в розробці методів побудови темпоральних правил, які базуються на результатах аналізу журналів подій об'єкту управління та враховують особливості як процесного, так і функціонального підходів до управління підприємством. **Задачі:** побудова моделей темпоральних залежностей, що пов'язують між собою послідовні пари дій, а також поточну дію з наступною дією у майбутньому; розробка методів побудови темпоральних правил, що призначені для підтримки прийняття управлінських рішень на основі прогнозування поведінки об'єкту управління в поточній, в тому числі нестандартній ситуації. **Методами**, що використовуються, є: методи інтелектуального аналізу процесів, які передбачають побудову залежностей між подіями на основі аналізу журналу об'єкту управління в інформаційно-управляючих системах. Отримано такі **результати**. Розроблено моделі темпоральних правил, які визначають послідовність у часі дій на об'єкті управління. Запропоновано методи побудови темпоральних правил для підтримки як процесного, так і функціонального управління підприємством. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: розроблено моделі темпоральних правил, що пов'язують між собою поточні події з наступними та подіями у майбутньому, причому кожна подія відповідає окремій дії на об'єкті управління. Такі моделі враховують як значення всіх атрибутів подій, так і виділену підмножину атрибутів у відповідності до особливостей журналів подій процесного й функціонального управління. Це дає можливість сформувати ймовірні послідовності дій в заданій ситуації і тим самим забезпечити можливість підтримки прийняття управлінських рішень шляхом вибору із цих можливих послідовностей дій. Запропоновані методи побудови темпоральних правил містять у собі етапи відбору вхідних трас при процесному управлінні або формування послідовностей подій для життєвих циклів артефактів при функціональному управлінні, формування правил для кожної траси або послідовності подій життєвого циклу та інтеграції цих правил на всій множині вхідних подій. Отримані методи призначені для побудови представлення знань в інформаційно-управляючих системах.

Ключові слова: парадигма «Enterprise 2.0»; темпоральні правила; логічне виведення; журнал подій.

Вступ

Актуальна в останні роки парадигма управління підприємством «Enterprise 2.0» передбачає вирішення частково структурованих задач шляхом поєднання функціонального і процесного підходів до управління [1]. Частково структуровані задачі характеризуються як кількісними, так і якісними залежностями і тому традиційно вирішуються з використанням персональних знань ОПР.

Автоматизація вирішення таких задач в рамках інформаційно-управляючої системи потребує формалізації вказаних залежностей та побудови бази знань, яка забезпечувала б можливість підтримки прийняття управлінських рішень.

Якісні залежності відображають персональні знання як ОПР, так і виконавців [2], що ускладнює їх формалізацію. Існуючі можливості виявлення якісних залежностей базуються на аналізі поведінки об'єкту управління, представленої у вигляді журналів подій. Такий аналіз дозволяє виявити темпоральні залежності між подіями, що фіксують у журналі виконання дій на об'єкті управління. Тому вказані темпоральні правила задають переваги при виконанні дій і тим самим визначають порядок цих дій у часі. Викладене свідчить про актуальність автоматизованої побудови темпоральних правил, що формують представлення знань в ІУС як при процесному, так і при функціональному підходах до управління.

Дане представлення знань має ймовірнісний характер [3] та використовується для підтримки

прийняття управлінських рішень шляхом вибору однієї із найбільш імовірних послідовностей дій у поточній ситуації [4]. Вказані послідовності формуються на основі ймовірнісного виведення у базі знань, представлений множиною зважених темпоральних правил [5].

Існуючі методи опису поведінки об'єкту управління на основі аналізу журналів подій призначені в першу чергу для формування графових моделей процесів на підприємстві [6]. Такі підходи орієнтовані в першу чергу на процесний підхід до управління, мають метою порівняння апріорно відомої і фактичної поведінки бізнес-процесів [7], та не приділяють достатньо уваги виявленню окремих темпоральних залежностей.

З іншого боку, методи інтелектуального аналізу даних орієнтовані переважно на побудову статичних залежностей між різними об'єктами предметної області [8]. Темпоральному аспекту в даному випадку не приділяється достатньо уваги.

Запропоновані методи для виділення залежностей між подіями та атрибутами подій [9] дозволяють виявити контекстні залежності для виконання дій, але в них не розглядаються відмінності вхідних даних – журналів подій для процесного і функціонального управління. В той же час вказані відмінності мають суттєвий вплив при побудові ймовірнісного представлення знань.

Таким чином, задача побудови темпоральних правил, що забезпечували б підтримку прийняття рішень на основі прогнозування поведінки об'єкту

управління в поточній, в тому числі нестандартній ситуації, вимагає свого вирішення.

Метою статті є розробка методів побудови темпоральних правил на основі аналізу журналу подій об'єкту управління з урахуванням особливостей як процесного, так і функціонального підходів до управління підприємством.

Розробка вказаних методів потребує попередньої формалізації темпоральних правил, що враховують як зв'язки безпосередньо між подіями журналу, так і між атрибутами цих подій.

Моделі темпоральних правил для журналів подій процесного та функціонального управління

Темпоральні правила відображають допустиму послідовність дій у часі, що змінюють об'єкт управління. Знання про такі послідовності можуть бути представлені модальними залежностями трьох типів: *NeXt*, *Future*, *Until*.

Залежність типу *NeXt* задає безпосереднє слідування визначеної дії за поточною. Залежність типу *Future* задає слідування визначеної дії за поточною в майбутньому (тобто через одну, дві, ... n дій). Залежність типу *Until* визначає майбутню дію як результат зміни контексту. Іншими словами, для дії даного типу необхідно перевіряти поточний контекст. Контекст визначається як фрагмент предметної області, що впливає на послідовність виконання дій на об'єкті управління.

Відмінність між темпоральними залежностями *NeXt*, *Future*, а також *Until* полягає в тому, що перші два типи дозволяють враховувати лише послідовність виконання дій, а третя – потребує визначення умов для їх виконання.

Це дозволяє деталізувати знання про поведінку об'єкту управління і, наприклад, врахувати зміну стану поточної дії.

Вхідними даними для побудови темпоральних правил є журнали подій. Останні містять у собі дискретну послідовність станів об'єкту управління у вигляді послідовності подій. Кожна подія журналу є записом про виконання окремої дії на об'єкті управління та містить інформацію про стан артефактів, який виникає після виконання цієї дії. Під артефактами будемо розуміти окремі неділимі об'єкти, які входять до складу слабо структурованого об'єкту управління.

Структура журналу подій залежить від підходу до управління, що реалізовано на конкретному підприємстві. В якості базових розглядатимемо процесний та функціональний підходи. Процесний підхід до управління базується на визначенні горизонтальних зв'язків між постачальниками, виконавцями та користувачами продукції підприємства. Такі зв'язки формалізуються у вигляді бізнес-процесів. Функціональний підхід реалізує вертикально-орієнтовані інформаційні зв'язки у відповідності до організаційної ієрархії підприємства. В рамках функціонального підходу може бути організована колективна робота виконавців. Інші відомі підходи до управління

використовують комбінацію горизонтальних та вертикальних інформаційних зв'язків з урахуванням поточної організаційної структури підприємства.

Кожен журнал подій при процесному підході до управління містить інформацію лише про один бізнес-процес та структурується по його трасам. Кожна траса π_i містить інформацію про одноразове виконання бізнес-процесу у вигляді упорядкованої множини подій $\pi_i = \langle e_{i,1}, e_{i,1}, \dots, e_{i,j}, \dots \rangle$.

Діяльність підприємства в цілому при процесному підході представляється у вигляді множини бізнес-процесів. Інформація про виконання цих процесів відображена у множини журналів подій. Таким чином, знання про поведінку бізнес-процесів у вигляді темпоральних правил можуть бути сформовані для кожного бізнес-процесу окремо на основі аналізу його журналу подій.

Інформація про діяльність підприємства при функціональному підході до управління представлена у вигляді одного журналу подій для підрозділу або для підприємства в цілому. Кожен такий журнал зазвичай містить одну трасу, яка складається з подій, що фіксують виконання різноманітних функціональних задач. Тобто інформація про задачі та процеси на підприємстві «перемішана» та представлена у вигляді лише однієї послідовності подій. Це не дозволяє виявити знання про типові шаблони вирішення функціональних задач без фільтрації атрибутів вказаних подій.

Головна ідея фільтрації полягає в тому, щоб визначити послідовності подій, що відповідають життєвому циклу цільового артефакту, наприклад платіжного документу, вузлу із вибору підприємства, тощо. Визначення підмножин послідовностей подій для різних артефактів дає можливість виявити типові темпоральні залежності між цими подіями.

Важливо відзначити, що побудова ймовірного представлення знань на основі марківських логічних мереж потребує визначення ваг логічних правил. Ці ваги обчислюються у відповідності до запропонованого в роботі [10] методу на основі врахування ймовірності появи відповідної траси у журналі подій випадку процесного управління та на з урахуванням ймовірності реалізації життєвого циклу артефакту у випадку функціонального управління.

Зв'язок подій та правил для процесного управління представлено на рис. 1.

У наведеному на рис. 1 прикладі представлені траси π_1 та π_2 . Правила типу *NeXt* пов'язують послідовні події, наприклад $e_{1,1}$ та $e_{1,2}$. Темпоральне правило типу *Future* визначає зв'язок між подіями $e_{1,1}$ та $e_{1,3}$, між якими є проміжна подія $e_{1,2}$. Темпоральні правила типу *Until* визначають настання умов виконання дії і тому залежить від атрибутів подій. Так, якщо відмінності між апріорно визначеною підмножиною атрибутів подій $e_{1,1}$ та $e_{1,2}$ задають умови виконання дії, що зафіксована у події $e_{1,2}$, то ми маємо правило типу *Until*.

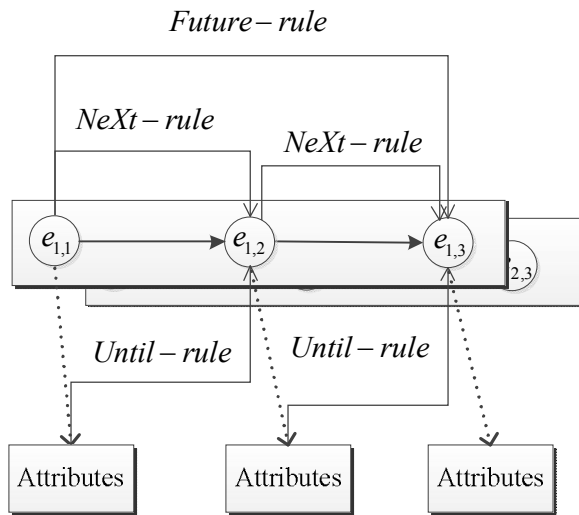


Рис. 1. Зв'язок подій та правил для процесного управління

Наприклад, якщо пов'язана із подією $e_{1,2}$ дія виконується лише після зміни виконавця, то реалізується правило типу *Until*: до тих пір, поки не змінився виконавець на <Ім'я>, умови для дії <Назва дії> не виконані.

Ваги правил при процесному управлінні залежать від ймовірності $P(\pi_i)$ появи траси π_i , для якої задані такі правила:

$$w_{i,j} = f(P(\pi_i)). \quad (1)$$

Оскільки в журналі для даного прикладу записані лише дві траси, то вони мають однакову ймовірність, тобто $P(\pi_1) = P(\pi_2) = 0,5$.

Відзначимо, що інформація про діяльність підприємства в цілому представлена у вигляді множини журналів подій. Зв'язок подій та правил для функціонального управління представлено на рис. 2.

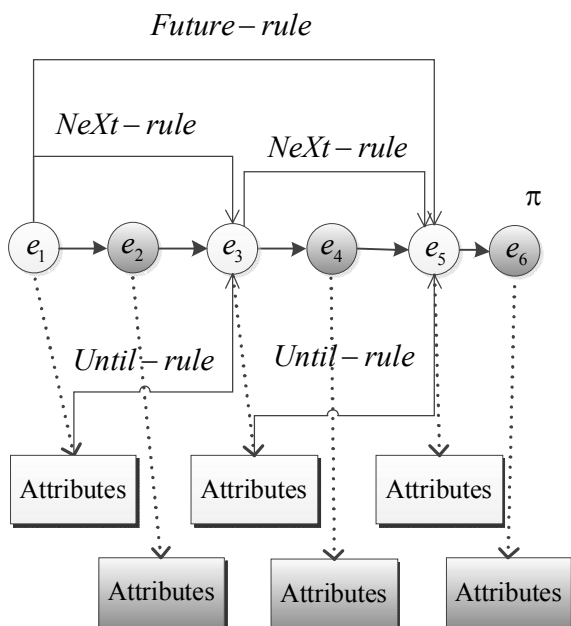


Рис. 2. Зв'язок подій та правил для функціонального управління

У наведеному на рис. 2 прикладі представлено єдину трасу π для всіх функціональних задач, що вирішуються на підприємстві. На цій трасі тоном виділено життєві цикли двох артефактів. Життєвий цикл ϕ_1 першого артефакту відображений подіями e_1 , e_3 та e_5 , а другого ϕ_2 – подіями e_2 , e_4 та e_6 . Дані життєві цикли виділені у відповідності до підмножини значень атрибутів цих подій. Темпоральні правила представлені для першого життєвого циклу ϕ_1 аналогічно правилами для процесного управління.

Кожна подія e_j на загальній трасі π визначається за допомогою множини атрибутів артефактів $\{a_j^k\}$.

Це дозволяє визначити життєвий цикл ϕ_i i – артефакту через єдине значення $\alpha_{i,j}^m$ атрибуту $a_{i,j}^m$ всіх подій $e_{i,j}$ журналу, що належать до цього життєвого циклу:

$$\phi_i = \left\langle \begin{array}{c} e_{i,1}, e_{i,1}, \dots, e_{i,j}, \dots \\ \forall e_{i,j} \exists e_{i,j}^m : \alpha_{i,1}^m = \alpha_{i,2}^m = \dots = \alpha_{i,j}^m = \dots \end{array} \right\rangle. \quad (2)$$

Іншими словами, при знаходженні життєвого циклу артефакту необхідно відібрати такі події, що мають одне й те ж саме значення його апріорно відомого ключового атрибуту, наприклад, назву продукту:

$$\alpha_{i,j}^m = \text{Product_value}, \alpha_{i,j}^m = \text{"PROD21"},$$

тобто для всіх подій $e_{i,j}$, що належать до життєвого циклу ϕ_i , виконується умова

$$\text{Product_value} = \text{"PROD21"}.$$

Наведене у виразі (2) визначення на враховує ситуацію, коли життєвий цикл у загальній трасі π повторюється декілька разів. Наприклад, були виписані декілька платіжних доручень. Однак багаторазове виконання життєвого циклу впливає лише на вагу правил та не впливає на самі правила.

Ваги правил при функціональному управлінні залежать від ймовірності появи життєвого циклу $P(\phi_i)$:

$$w_{i,j} = f(P(\phi_i)) \mid \forall i \phi_i \subset \pi. \quad (3)$$

Оскільки в якості атрибутів подій виступають атрибути артефактів об'єкту управління, то життєві цикли для різних артефактів можуть мати спільні події. Це означає, що існують такі життєві цикли артефактів i, n , які мають спільні події за умови, що не співпадають назви атрибутів a_i^m та a_n^s , за якими фільтруються події до цих життєвих циклів.

$$\exists i, n : \phi_i \cap \phi_n \neq \emptyset \mid a_i^m \neq a_n^s. \quad (4)$$

У виразі (4) для атрибутів a_i^m та a_i^s подій вказано лише один індекс, оскільки вказані атрибути визначають життєвий цикл артефакту і тому належать до всіх подій цього циклу.

Оскільки для кожної події журналу задається множина її атрибутів, істинність j – події задається

предикатом від її атрибутів, тобто $A(e_j) = A(\{a_j^k\})$.

Темпоральні правила при процесному управлінні пов'язують між собою предикати, що визначають істинність подій на відповідних трасах, та мають такий вигляд. Правило типу *NeXt* визначає наявність двох подій e_j та e_n на одній трасі π_i , між якими не існує проміжної події e_m та має вигляд:

$$C_{Next}^{\pi} = A(e_j) X A(e_n) \quad [10].$$

Правило типу *Future* визначає наявність двох подій e_j та e_n на одній трасі π_i , між якими існує щонайменше одна проміжна подія e_m та має вигляд

$$C_{Future}^{\pi} = A(e_j) F A(e_n) \quad [10].$$

Правило типу *Until* визначає наявність двох подій e_j та e_n на одній трасі π_i , для яких змінюється значення щонайменше одного апріорно вибраного атрибуту з індексом m :

$$C_{Until}^{\pi} = A(e_j) U A(e_n) \Big| \forall e_j, e_n \in \pi_i \exists m : \alpha_j^m \neq \alpha_n^m. \quad (5)$$

В якості такого атрибуту ми можемо, наприклад, визначити стан дії, виконавця дії, тощо. Семантика правила (5) полягає в тому, що зміна значення атрибуту призводить до запуску іншої дії або зміни стану поточної дії.

Наприклад, для процесу сервісного обслуговування продукт буде очікувати обробки, поки ним займається приймальник. Потім менеджер підрозділу передає цей продукт конкретним виконавцям, які починають ремонт. Тобто умовою операції розподілу завдань є перехід до менеджера підрозділу, а ремонту – перехід продукту до безпосередніх виконавців.

Темпоральні правила при функціональному управлінні базуються на наведеному визначенні життєвого циклу артефакту ϕ_i .

Правило типу *NeXt* визначає наявність двох подій e_j та e_n для життєвого циклу одного артефакту ϕ_i , між якими не існує проміжної події e_m . Виділений артефакт визначається за його властивістю a^m , значення якої є ідентичним для антецеденту та консеквенту правила:

$$C_{Next}^{\phi} = A(e_j) X A(e_n) \Big| \exists m : \alpha_j^m = \alpha_n^m, e_j, e_n \in \phi_i. \quad (6)$$

Правило типу *Future* визначає наявність двох подій e_j та e_n для життєвого циклу ϕ_i одного артефакту π_i , причому між ними існує щонайменше одна проміжна подія e_m в цьому ж життєвому циклі:

$$C_{Future}^{\phi} = A(\{a_j^k | \exists a_j^m \in \phi_i\}) F A(\{a_n^k | \exists a_n^m \in \phi_i\}) \Big| \forall e_j, e_n \in \phi_i \exists e_l \in \phi_i : A(e_j) X A(e_l) \vee A(e_l) X A(e_n). \quad (7)$$

Правило типу *Until* визначає наявність двох подій e_j та e_n на одній трасі π_i , для яких змінюється значення щонайменше одного апріорно вибраного атрибуту з індексом m :

$$C_{Until}^{\phi} = A(\{a_j^k\}) U A(\{a_n^k\}) \Big| \exists m, l : \alpha_j^m = \alpha_n^m \wedge \exists a_j^l \neq \alpha_n^l. \quad (8)$$

Порівняння темпоральних правил типів *NeXt* та *Future* із правилами типу *Until* показує, що перші два типи задають темпоральні залежності між подіями, а останній тип забезпечує урахування значень атрибутів артефактів.

Тобто в цілому правила типу *Until* доцільно розглядати як деталізацію правил типів *NeXt* та *Future* з урахуванням поточного стану артефактів, над якими виконуються дії.

Зазначене показує важливість розробки в першу чергу методів побудови темпоральних правил перших двох типів.

Методи побудови темпоральних правил типів *NeXt* та *Future*

Запропоновано методи передбачають формування темпоральних правил типів *NeXt* та *Future*, що задають переваги у часі при виконанні послідовностей дій у випадку як процесного, так і функціонального управління підприємством.

Відмінності у методах пов'язані із відмінностями у журналах подій для процесного і функціонального управління, як показано на рис. 1 та 2.

Метод побудови темпоральних правил типу *NeXt* використовує такі входні дані.

1. У випадку процесного управління – журнал подій у вигляді множин трас $\{\pi_i\}$ та критерії відбору трас: часовий (наприклад останні за часом траси бізнес-процесу); за артефактом (наприклад, траси, де виконувалась обробка заданого документу).

2. У випадку функціонального управління – артефакт, для якого виявляються темпоральні залежності, та його атрибуту.

Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Побудова підмножини подій для виявлення правил. У випадку процесного управління виділяються траси за часовим критерієм або за кри-

терієм обробки потрібного артефакту. У випадку функціонального управління виділяються послідовності подій, що відповідають життєвому циклу артефакту.

Етап 2. Визначення правил типу *NeXt* для кожної пари послідовних подій поточної траси у випадку процесного управління або кожної пари поточних подій життєвого циклу артефакту у випадку функціонального управління.

Етап 3. Встановлення відповідності між подіями з різних трас/життєвих циклів шляхом порівняння значень усіх атрибутів для кожної події. Умова еквівалентності події має вигляд:

$$e_{i,j} \equiv e_{l,n} : \forall k \alpha_{i,j}^k = \alpha_{l,n}^k. \quad (9)$$

Етап 4. Поєднання правил C_{Next}^π та C_{Next}^ϕ за умови еквівалентності подій (10) з різних трас або життєвих циклів:

$$\begin{aligned} C_{next i,j} &\equiv C_{next l,n} : e_{i,j} \equiv \\ &\equiv e_{l,n} \wedge e_{i,j+1} \equiv e_{l,n+1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Метод побудови темпоральних правил типу *Future* є аналогічним попередньому методу та відрізняється послідовністю побудови правил із пар подій.

Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Побудова підмножини трас або життєвих циклів для виявлення правил.

Етап 2. Визначення всіх пар подій виду:

$$(e_{i,j}, e_{i,n}), j = \overline{1, J-2}, n = \overline{3, J}, n-j > 1. \quad (11)$$

Етап 3. Формування правил типу *Future* для кожної пари відповідно (11).

Етап 4. Встановлення відповідності між подіями з різних трас/життєвих циклів шляхом порівняння значень усіх атрибутів для кожної події згідно (9).

Етап 5. Поєднання правил C_{Future}^π та C_{Future}^ϕ за умови еквівалентності подій (10) з різних трас або життєвих циклів.

Висновки

1. Розроблено моделі темпоральних правил, що пов'язують між собою поточні події з наступними та подіями у майбутньому з використанням як значень всіх атрибутів подій, так і виділеної підмножини атрибутів, та з урахуванням особливостей журналів подій як для процесного, так і для функціонального управління.

У практичному плані отримані темпоральні правила дозволяють сформувати ймовірні послідовності дій для заданого стану об'єкту управління і тим самим забезпечити можливість підтримки прийняття управлінських рішень шляхом вибору із цих можливих послідовностей дій.

2. Запропоновано методи побудови темпоральних правил, що пов'язують між собою поточні події з наступними та подіями у майбутньому. Методи містять у собі етапи відбору вхідних трас або формування послідовностей подій життєвих циклів артефактів, формування правил для кожної траси (або життєвого циклу) та інтеграції цих правил на всій множині вхідних подій.

Методи призначені для побудови представлення знань в інформаційно-управляючих системах з тим, щоб підвищити ефективність управління підприємством на основі прогнозування контекстно-залежних послідовностей дій з використанням темпоральних правил.

REFERENCES

- Vom Brocke, J. (2015), *Handbook on Business Process Management 1. Introduction, Methods, and Information Systems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 709 p., available at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3>.
- Kalynychenko, O., Chalyi, S., Bodyanskiy, Y., Golian, V. and Golian, N. (2013, September), "Implementation of search mechanism for implicit dependences in process mining", *2013 IEEE 7th International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS)*. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), available at: <https://doi.org/10.1109/idaacs.2013.6662>.
- Richardson, M. and Domingos, P. (2006), "Markov logic networks", *Machine learning*, 62(1-2), pp. 107-136, available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s10994-006-8633-8>.
- Gogate, V. and Domingos, P. (2010), "Formula-Based Probabilistic Inference", *Proceedings of the Twenty-Sixth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, Catalina Island, CA — July 08 - 11, 2010.
- Chala O.V. (2018), "Method of hierarchical deduction in the knowledge base of the information-control system in the paradigm "Enterprise 2.0"", *Control, navigation and communication systems*, 2018, No. 4 (50), pp. 86-90.
- Kalenkova A.A., van der Aalst W.M.P., Lomazova I.A. and Rubin V.A. (2017), "Process Mining Using BPMN: Relating Event Logs and Process Models", *Software and Systems Modeling*, 16 (4), pp. 1019-1048, available at: <http://dx.doi.org/10.1007/s10270-015-0502-0>.
- Müller, D., Reichert, M. and Herbst, J. (2007), "Data-Driven Modeling and Coordination of Large Process Structures", *On the Move to Meaningful Internet Systems 2007: CoopIS, DOA, ODBASE, GADA, and IS*, available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-76848-7_10.
- Polyvyanyy A., Smirnov S. and Weske M. (2015), "Business process model abstraction", *Handbook on Business Process Management*, 1, pp. 147-165, available at: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-45100-3>.
- Levikin V.M. and Chala O.V. (2018), "Development of the representation of causal relationships for the knowledge base of the process management system", *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". Series: System Analysis, Management and Information Technology*, No. 21 (1297), pp. 48-53.

10. Levykin V. and Chala O. (2008), "Method of determining weights of temporal rules in Markov logic network for building knowledge base in information control system", *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, pp. 29-35.

Надійшла (received) 22.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 15.08.2018

Построение темпоральных правил для представления знаний в информационно-управляющих системах

О.В. Чалая

Предметом изучения в статье являются процессы построения представления знаний в информационно-управляющих системах на основе темпоральных зависимостей, задающие последовательность выполнения действий на комплексном объекте управления. **Цель** заключается в разработке методов построения темпоральных правил, основанных на результатах анализа журналов событий объекта управления, и учитывают особенности как процессного, так и функционального подходов к управлению предприятием. **Задачи**: построение моделей темпоральных зависимостей, связывающих между собой последовательные пары действий, а также текущее действие с последующим действием в будущем; разработка методов построения темпоральных правил для обеспечения поддержки принятия управленческих решений на основе прогнозирования поведения объекта управления в текущей, в том числе нестандартной ситуации. **Методами**, которые используются, являются методы интеллектуального анализа процессов, которые предусматривают построение зависимостей между событиями на основе анализа журнала объекта управления в информационно-управляющих системах. Получены следующие **результаты**. Разработаны модели темпоральных правил, определяющих временную последовательность действий на объекте управления. Предложены методы построения темпоральных правил для поддержки как процессного, так и функционального управления предприятием. **Выводы**. Научная новизна полученных результатов заключается в следующем: разработаны модели темпоральных правил, связывающих между собой текущие события с последующими и событиями в будущем, причем каждое событие соответствует отдельному действию на объекте управления. Такие модели учитывают как значения всех атрибутов событий, так и выделенное подмножество атрибутов в соответствии с особенностями журналов событий процессного и функционального управления. Это дает возможность сформировать возможные последовательности действий в заданной ситуации и тем самым обеспечить возможность поддержки принятия управленческих решений путем выбора из этих возможных последовательностей действий. Предложенные методы построения темпоральных правил включают в себя этапы отбора входных трасс при процессном управлении или формирования последовательностей событий для жизненных циклов артефактов при функциональном управлении, формирование правил для каждой трассы или последовательности событий жизненного цикла, а также интеграции этих правил на всей множества входных событий. Полученные методы предназначены для построения представления знаний в информационно-управляющих системах.

Ключевые слова: парадигма «Enterprise 2.0»; темпоральные правила; логический вывод; журнал событий.

Construction of temporal rules for the representation of knowledge in information control systems

O. Chala

The **subject matter** of the article is the processes of constructing the representation of knowledge in information control systems based on temporal dependencies, which determine the sequence of actions on a complex control object. The **goal** is to develop methods for constructing temporal rules based on the analysis of the event logs of the control object and take into account the features of both the process and functional approaches to the management of the enterprise. **Tasks**: constructing models of temporal dependencies linking successive pairs of actions, as well as the current action with subsequent action in the future. Development of methods for constructing temporal rules to provide support for making management decisions based on predicting the behavior of the control object in the current, including non-standard situation. The **methods** used are: methods that are used are the methods of intellectual analysis of processes, which provide for constructing dependencies between events based on the analysis of the log of control object in information control systems. The following **results** were obtained. Models of temporal rules that determine the sequence in time of actions at the control object are developed. Methods for constructing temporal rules are proposed to support as process as functional enterprise management. **Conclusions**. The scientific novelty of the results obtained is as follows: models of temporal rules have been developed, linking current events with subsequent ones and future events, with each event corresponding to a separate action on the control object. Such models take into account both the values of all event attributes and a selected subset of attributes in accordance with the features of the process and functional management event logs. This makes it possible to form possible sequences of actions in a given situation and thereby ensure the possibility of supporting management decision-making by choosing from these possible sequences of actions. The proposed methods for constructing temporal rules include the steps of selecting input traces during process control or generating sequences of events for the life cycles of artifacts during functional management, generating rules for each trace or sequence of life cycle events and integrating these rules on the entire set of input events. The obtained methods are designed to build knowledge representation in information and control systems.

Keywords: paradigm "Enterprise 2.0"; temporal rules; logical inference; event log.

Methods of information systems synthesis

УДК 004.728 : 519.8

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.10

І. С. Зиков¹, Н. Г. Кучук², С. І. Шматков²¹ Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна² Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна

СИНТЕЗ АРХІТЕКТУРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТРАНЗАКЦІЯМИ E-LEARNING

В роботі розглянуто задачу синтезу архітектури сучасної комп'ютерної системи для управління транзакціями e-learning. **Мета статті** – розробка декомпозиційного методу синтезу архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning на основі стратифікації орієнтованого графа варіантів реалізації комп'ютерної системи. **Результати дослідження.** Проаналізовано основні етапи синтезу архітектури. Обґрунтовано необхідність проведення попередньої декомпозиції, структуризації і формалізації системи. Наведено основні етапи ієрархічної послідовності процесу декомпозиції. Розроблено декомпозиційний метод синтезу архітектури комп'ютерної системи на основі стратифікації орієнтованого графа варіантів реалізації комп'ютерної системи. Розроблено імітаційну модель даного процесу. Результати моделювання показали доцільність застосування розробленого методу при синтезі архітектури комп'ютерної системи з великою кількістю вузлів. **Висновки.** В роботі розглянуто задачу синтезу архітектури сучасної комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. Проаналізовано основні етапи синтезу архітектури. Обґрунтовано необхідність проведення попередньої декомпозиції, структуризації і формалізації системи. Наведено основні етапи ієрархічної послідовності процесу декомпозиції. Розроблено декомпозиційний метод синтезу архітектури комп'ютерної системи на основі стратифікації орієнтованого графа варіантів реалізації комп'ютерної системи. Розроблено імітаційну модель даного процесу. Результати моделювання показали доцільність застосування розробленого методу при синтезі архітектури комп'ютерної системи з великою кількістю вузлів. Так, при $N < 60$ застосування даного методу недоцільно. При кількості вузлів комп'ютерної системи $60 < N < 100$ практичного виграшу за часом синтезу не досягається. Однак, при $N > 100$ виграш стає помітним. При цьому зі збільшенням кількості вузлів перевага декомпозиційного методу наростає.

Ключові слова: e-learning; комп'ютерна система; транзакція; синтез; система управління; декомпозиція; стратифікація.

Вступ

Електронне навчання (e-learning) – це передача знань і управління процесом навчання за допомогою нових інформаційних і телекомунікаційних технологій. Технології e-Learning дозволяють створювати електронні курси, системи управління навчанням та навчальними об'єктами, системи контролю знань, а також засоби створення знань. Електронне навчання може здійснюватися на основі використання цифрових репозитаріїв – баз даних і знань, що дозволяють зберігати знання в електронному вигляді, структуровані відповідно до принципів об'єктного опису метаданими. Цифрові репозитарії дозволяють вибудовувати взаємозв'язки між об'єктами знань з можливістю контекстного пошуку [1, 2].

При побудові або розвитку e-learning необхідно синтезувати архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями. Завдання синтезу архітектури сучасної комп'ютерної системи (КС) для управління складним розподіленим об'єктом (СРО) є комплексною проблемою. Її рішення неможливо без попередньої декомпозиції, структуризації і формалізації. До теперішнього часу багатьма авторами описаний ряд можливих підходів і варіантів розв'язання проблеми [3, 4]. Відповідно до цих роботах можна виділити такі етапи синтезу архітектури КС:

- синтез організаційної структури системи управління (СУ) об'єктом;
- синтез архітектури КС, яка забезпечує вимоги до функціонування системи;

- синтез архітектури базової комп'ютерної мережі (БКС).

Основним завданням синтезу організаційної структури СУ об'єктом є розробка логічної структури СУ об'єкта. Така структура повинна включати основні складові об'єкта і взаємозв'язку між ними. Дана структура визначить вхідні дані для синтезу архітектури КС, за допомогою якої реалізується управління СРО, спрямоване на вирішення завдань певних класів. Така архітектура є логічною сукупністю необхідних компонентів, стратифікована за відповідними рівнями. Крім того, вона повинна враховувати зв'язку між компонентами і рівнями, які забезпечують обмін як службовою інформацією, так і інформацією користувача.

Синтез архітектури базової комп'ютерної мережі включає розробку фізичної структури для отриманої на попередньому етапі архітектури КС.

Крім того, в процесі синтезу, на кожному з етапів, розподіл сукупності вирішуваних завдань, за сукупністю використовуваних компонентів КС повинен прагнути до екстремуму по заданому критерію якості з обов'язковим урахуванням всіх обмежень, які застосовуються.

1. Аналіз проблеми та постановка завдання

Підходи до синтезу архітектури комп'ютерної системи СРО розглядаються в багатьох роботах [5-7]. Відповідно до цих роботах синтез складається із таких основних етапів:

1) формалізація структури і компонент, включаючи визначення необхідної кількості компонент і необхідної кількості рівнів, за якими вони повинні бути розподілені;

2) формалізація взаємозв'язків між компонентами, включаючи відтворення необхідних зв'язків в загальній ієрархії рівнів;

3) формалізація задач, що реалізуються такими КС, включаючи їх оптимальний розподіл по компонентах.

Організаційна структура СУ СРО повинна давати однозначну відповідь на питання розподілу процесів по підсистемах різних рівнів, а також розподілу всієї сукупності можливих функцій і методів їх реалізації по необхідним підсистемах. При вирішенні задачі синтезу потрібно визначити:

- множини принципів і методів, які повинні реалізовуватися;

- множину взаємопов'язаних функцій, що реалізуються КС;

- множини компонент КС СРО, взаємопов'язаних між собою і стратифікована за рівнями;

- відображення елементів множини взаємопов'язаних функцій, що реалізуються КС СРО, на множину компонентів базової комп'ютерної мережі.

В [8, 9] пропонуються проводити декомпозицію задачі синтезу. В [10] запропоновано ієрархічна послідовність процесів декомпозиції.

Важливим завданням початкового етапу синтезу є визначення та формалізація вимог до КС СРО [11]. Реалізація вимог системою управління можливо багатьма способами, найбільш зручно формалізується за допомогою математичного апарату теорії графів [12]. Таким чином, стає можливою формалізація взаємозв'язків для синтезованої КС.

При відображенні безлічі взаємопов'язаних функцій і завдань КС СРО, які задані у вигляді відповідних графів, на безліч компонентів КМ можна отримати орієнтований мультиграф, окремі частини якого відповідають можливим варіантам розподілу функцій по компонентах БКС, а дуги відображають взаємозв'язки між ними.

Оптимальним варіантом реалізації КС буде підграф орієнтованого мультиграфом, який одночасно є допустимим варіантом реалізації організаційної структури СУ СРО. Відповідна модель може бути представлена орієнтованим графом

$$G_A = (V_D, R_F, \Theta), \quad (1)$$

де $V_D = \{v_d, d = \overline{1, d_0}\}$ – множина можливих варіантів організації даних; $R_F = \{r_f, f = \overline{1, f_0}\}$ – множина можливих варіантів реалізації функцій; $\Theta = (\theta_{df}), d = \overline{1, d_0}; f = \overline{1, f_0}; \dim \Theta = d_0 \times f_0$ – матриця, що відображає взаємозв'язок даних і функцій. При цьому $\theta_{df} = 1$, якщо для формування множини v_d використовується функція r_f і $\theta_{df} = 0$ інакше.

На графі G можливе завдання варіантів реалізації даних і способів їх формування. Це дозволяє ві-

дображати варіанти перетворення вхідних даних у вихідні дані з метою вибору оптимального варіанту при заданих умовах оптимальності і обмеження існуючих [13, 14]. Однак велика розмірність графа (1) зазвичай не дозволяє знайти оптимальний варіант за прийнятний час [15]. Тому на практиці використовують наближені методи пошуку варіанту із множини допустимих. В [16] показано, що при стратифікації варіантів реалізації архітектури КС час пошуку зменшується, а точність рішення збільшується.

Тому **метою роботи** є розробка декомпозиційного методу синтезу архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning на основі стратифікації орієнтованого графа варіантів реалізації КС.

2. Вирішення завдання

В орієнтованому графі (1) можна виділити два підмножини термінальних вершин: S – вершини-джерела; $\mathfrak{Z}$ – вершини-стоки. Тоді, якщо N – кількість нетермінальних вершин графа (1), то

$$V_D = \bigcup_{k=1}^{N_s} s_k \bigcup_{j=1}^{N_t} t_j \bigcup_{i=1}^N x_i, \quad (2)$$

де x_i – нетермінальна вершина графа (1), $s_k \in S$; $t_j \in \mathfrak{Z}$; $N_s = \text{card } S$; $N_t = \text{card } \mathfrak{Z}$;

Також введемо множину $E = V_D \bigcup R_F$.

Введемо на мережі G_A відношення наступності елементів таким чином. Нехай елемент j є наступником елементу i та позначимо $j \in \sigma(i)$, якщо

- 1) i – дуга, що заходить до вершини j ;
- 2) i – вершина, із якої виходить дуга j .

Інакше, якщо i – вершина мережі, то $\sigma(i)$ – множина дуг, що виходять із неї, а якщо i – дуга, то $\sigma(i)$ – вершина, в яку ця дуга заходить.

Нехай $i \in \sigma^{-1}(j)$, якщо $j \in \sigma(i)$, тобто $\sigma^{-1}(j)$ – множина елементів, для яких елемент є наступником. Відзначимо, що відношення наступності елементів σ можна ввести на будь-якому орієнтованому графі без контурів. Мережу G_A із множиною елементів E , на якій задано відношення σ , позначимо як $G_A(E, \sigma)$.

Визначимо як (a, b) -шлях послідовність елементів $l_0 = a, l_1, l_2, \dots, l_k = b$, що $\forall i = 1, 2, \dots, k$ елемент l_i є послідовником l_{i-1} , а шлях, що з'єднує джерело мережі із її стоком – термінальним шляхом.

Будемо вважати, що елементи мережі задані своїми номерами. Правильною нумерацією елементів (по аналогії із правильною нумерацією вершин) наведемо таку, що якщо $j \in \sigma(i)$, то $i < j$, де i, j – номери елементів мережі.

Відмітимо, що елементи кінцевого орграфа $G_A(E, \sigma)$ без контурів завжди можна правильно пронумерувати. Дійсно, можна побудувати бієктив-

не відображення ψ графа $G_A(E, \sigma)$ на граф $G'_A(E, R_F)$, у якого множина вершин відповідає множині вершин графа $G_A(E, \sigma)$, а відношення суміжності вершин R_F – відношенню наступності елементів σ на графі G . Відомо, що на графах такого вигляду, як $F_A(E, R_F)$, для вершин завжди можна задати правильну нумерацію [17], тобто її можна задати і на множині E елементів графа $G_A(E, \sigma)$, що слідує із бієктивності відображення ψ .

Змішаним (s, t) -розрізом або змішаним термінальним розрізом назвемо таку множину P елементів мережі, що якщо їх видалити з неї, то не знайдеться жодного термінального шляху.

Елемент ℓ назвемо надлишковим в розрізі P , якщо множина елементів $\{P \setminus \ell\}$ теж є розрізом. Розріз, який не містить надлишкових елементів, – мінімальний, а розріз, що містить надлишкові елементи є надлишковим. У надлишковому розрізі завжди знайдеться елемент, який можна видалити, не порушуючи властивості розрізу. Зауважимо, що з одного надлишкового розрізу можна іноді утворити кілька мінімальних розрізів, виключаючи різні надлишкові вершини. Надалі змішані термінальні розрізи будемо називати просто розрізами.

Алгоритм перерахування розрізів повинен містити спосіб формування вихідного розрізу, метод утворення нових розрізів з побудованих, процедуру виключення надлишкових елементів та порядок перебору. В якості вихідного розрізу візьмемо множину елементів $P_0 = \sigma(s)$. Ясно, що надлишкових елементів в ньому бути не може. У побудованому вихідному розрізі елементи розташовані в порядку зростання номерів.

Із кожного побудованого розрізу $P = \{\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n\}$ можна сформулювати $\ell \leq n$ нових розрізів. Якщо $t \in \sigma(\ell_i)$, то

$$P_i = ((P \setminus \ell_i) \cup \sigma(\ell_i)) \setminus I_i, \quad (3)$$

де I_i – множина надлишкових елементів у P_i .

У кожному новозбудованому розрізі впорядкуємо елементи за зростанням номерів, а елементи з однаковими номерами замінімо одним. Усі сформовані розрізи заносимо в загальний список розрізів в лексикографічному порядку за зростанням номерів складових елементів. Зауважимо, що при породженні розрізів із P заміною різних елементів ℓ_i на $\sigma(\ell_i)$ кілька разів, може утворюватися один і той же мінімальний розріз, який слід занести в список тільки перший раз.

Щоб по можливості зменшити кількість перестановок при лексикографічному упорядкуванні, доцільно елементи із P замінити на їх σ -образи в порядку, зворотному тому, як вони розташовані в P , тобто $\ell_n, \ell_{n-1}, \dots, \ell_1$. Крім того, слід кожен сформований мінімальний розріз відразу заносити в спи-

сок таким чином, щоб не порушувалася лексикографічна впорядкованість всього списку.

Завдяки прийнятій правильній нумерації елементів мережі, кожен новозбудований розріз розташовується в лексикографічно упорядкованому списку після того розрізу, за яким він є побудованим.

Розглянемо спосіб виключення надлишкових елементів з кожного породженого із розрізу P :

$$\tilde{P} = (P \setminus \ell_i) \cup \sigma(\ell_i). \quad (4)$$

В розрізі $\tilde{P}$ деякий елемент r_j є надлишковим, якщо усі (s, r_j) -шляхи або усі (r_j, t) -шляхи проходять ще крізь який-небудь елемент $r_k \in P$. Але для прийнятого способу породження розрізів на (s, r_j) -шляхах подібних елементів r_k у розрізі $\tilde{P}$ бути не може. Тому пошук надлишкових елементів слід проводити враховуючи тільки відрізки (r_j, t) -шляхів.

Впорядкуємо в породженому розрізі $\tilde{P}$ елементи за зростанням номерів. Тоді для перевірки елементів r_j на надмірність можна обмежитися відрізками (r_j, t) -шляхів, на яких номер останнього елемента не більше, ніж номер останнього елемента в розрізі $\tilde{P}$.

Позначимо $\tilde{P} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ – розріз, утворений із розрізу $P = \{\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_n\}$ заміною ℓ_i на $\sigma(\ell_i)$. Процедура виключення надлишкових елементів буде мати такий вигляд.

Для всіх j від 1 до m виконаємо:

положимо $\Sigma = \sigma(r_j) = \{y_1, \dots, y_p\}$.

якщо існує $y \in \Sigma$ таке, що $y > r_m$, то r_j – не надлишковий елемент в $\tilde{P}$;

якщо $\Sigma \in \tilde{P}$, то r_j – надлишковий елемент $\tilde{P}$;

якщо для всіх $y \in \Sigma$ буде $y \leq r_m$, то створимо $\phi = \Sigma \setminus (\Sigma \cap \tilde{P})$ та положимо $\Sigma = \sigma(\phi)$, після чого перейдемо до п. 2.

Розрізи вибираються зі списку побудованих розрізів у лексикографічному порядку за номерами складових їх елементів. При перегляді розрізу з нього породжуються нові розрізи заміною тих елементів ℓ_i , для яких $\sigma(\ell_i)$ не містить стоку t .

Весь алгоритм перерахування мінімальних розрізів має трудомісткість $O(N^2)$.

Розглянемо спосіб перетворення списку розрізів в мережу. У формалізованому вигляді це завдання можна сформулювати так.

Є список μ , що складається з M рядків $\xi_1, \dots, \xi_M$, та володіє такими властивостями:

рядок $\xi_i = (a_{i1}, \dots, a_{im})$ містить m_i неповторюваних символів алфавиту $A = \{a_i\}_{i=1}^N$;

допускається перестановка символів в рядку;

не існує $\xi_i, \xi_j \in \mu$, таких, що $\xi_i \leq \xi_j$.

Знайдеться хоч одна пара символів a_i, a_j , для яких не існує рядка $\xi_k \in \mu$, такого, що $a_i \in \xi_k, a_j \in \xi_k$. У цьому випадку символи a_i та a_j несумісні.

Треба побудувати мінімальний за кількістю вершин оргграф $G'_A(Y, R_F)$ із такими властивостями.

кожній вершині $y \in Y$ відповідає один символ $a \in A$; позначимо таку вершину y_a ;

для кожного рядка $\xi_i \in \mu, i = 1, 2, \dots, M$ існує шлях на графі $G'_A(Y, R_F)$, що проходить крізь вершини із символами $a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}$; назовемо такий шлях відповідним рядку ξ_i та позначимо як μ_{ξ_i} ;

не існує шляху на графі $G'_A(Y, R_F)$ такого, що $x_{a_i} \in \mu$ та $x_{a_j} \in \mu$, якщо символи a_i и a_j несумісні.

Це означає, що потрібно визначити такий порядок символів в рядках списку, щоб об'єднати максимальну кількість співпадаючих символів в рядках і при цьому несумісні символи не опинилися б в одному рядку. Виберемо трійку символів a_i, a_j и a_k таку, що символ a_i належить одночасно двом рядкам ℓ_p и ℓ_q , котрі містять несумісні символи $a_j \in S_p$ и $a_k \in S_q$. При цьому необхідно розмістити символи у рядках ℓ_p та ℓ_q щоб

$$a_i < a_j, a_i < a_k \quad (5)$$

$$\text{або} \quad a_i > a_j, a_i > a_k. \quad (6)$$

Співвідношення (5) запишемо як

$$f = a_i(a_j, a_k), \quad (7)$$

а співвідношення (6) як

$$\bar{f} = (a_j, a_k)a_i. \quad (8)$$

Назовемо форму (7) прямою, а форму (8) – оберненою. Форми f_1 и f_2 назовемо еквівалентними, якщо $f_1 = a_i(a_j, a_k)$, а $f_2 = a_i(a_k, a_j)$.

Форми f_1 и f_2 назовемо альтернативними за відношенню одна до одної, якщо $f_1 = \bar{f}_2$ або $f_2 = \bar{f}_1$. Надалі, f_i суперечить f_j , якщо загальна система нерівностей, створена формами f_i и f_j , є несумісною. Тоді форма $f = a_i(a_j, a_k)$ може суперечити тільки формам вигляду $(\ell \in (\overline{1, N}))$:

$$\begin{aligned} f_1 &= a_j(a_i, a_\ell), f_2 = a_k(a_i, a_\ell), \\ f_3 &= (a_j, a_\ell)a_i, f_4 = (a_\ell, a_i)a_k, \end{aligned} \quad (9)$$

відповідно:

$$f \vdash f_1; f \vdash f_2; f \vdash f_3; f \vdash f_4. \quad (10)$$

Для $\bar{f} = (a_j, a_k)a_i$ помітимо, що

$$\bar{f} \vdash \bar{f}_1, \bar{f} \vdash \bar{f}_2, \bar{f} \vdash \bar{f}_3, \bar{f} \vdash \bar{f}_4. \quad (11)$$

Складемо початкову систему форм $\Sigma = \Sigma_0$, що містить прямі форми для всіх подібних трійок символів. Пронумеруємо форми цієї системи (нехай їх буде Q). Складемо матрицю протиріч форм, використовуючи співвідношення (10) і (11) та правило:

$$v_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } f_i \vdash f_j; \\ 0, & \text{якщо } f_i \text{ не суперечить } f_j; \\ -1, & \text{якщо } \bar{f}_i \vdash f_j. \end{cases} \quad (12)$$

де $f_i, f_j \in \Sigma$.

Введемо допоміжні вектори D^+, D^- и що складаються із таких елементів:

$$\begin{aligned} d_i^+ &= \sum_{j=1, V_{ij}>0}^Q v_{ij}, d_i^- = \sum_{j=1, V_{ij}<0}^Q v_{ij}, \\ \delta_i &= \sum_{j=1}^Q v_{ij} = d_i^+ + d_i^-. \end{aligned} \quad (13)$$

Будемо змінювати систему форм Σ , замінюючи, де потрібно, складові її форми на альтернативні так, щоб в результаті отримати систему $\Sigma = \Sigma^*$, яка містить мінімальну кількість форм, що суперечать одна одній. Показником необхідності заміни форми f_i на f_i^* служить величина $\delta_i > 0$. При заміні форми f_i на $\bar{f}_i$ змінюються i -й рядок та i -й стовпець матриці V , а також деякі компоненти векторів D^+, D^- та Δ за таким правилом:

в i -му рядку матриці V міняємо v_{ij} на $-v_{ij}$, $j = 1, \dots, Q$, при цьому

$$\begin{aligned} d_i^+(new) &= d_i^-(old), d_i^-(new) = \\ &= d_i^+(old), \delta_i(new) = -\delta_i(old); \end{aligned} \quad (14)$$

в i -м стовпці матриці V міняємо v_{ki} на $-v_{ki}$, $k = 1, \dots, Q$, при цьому

$$\begin{aligned} d_k^-(new) &= d_k^-(old) - v_{ki}(old), \\ d_k^+(new) &= d_k^+(old) - v_{ki}(old), \\ \delta_k(new) &= \delta_k(old) - 2v_{ki}(old). \end{aligned}$$

Поступаючи так само для f_i , у яких $\delta_i > 0$, поступово зменшуємо загальну кількість протиріч в системі Σ , поки не виявиться, що всі $\delta_i \leq 0$, $i = 1, \dots, Q$. При цьому отримуємо систему форм

$\Sigma = \Sigma^*$ із мінімальним числом протиріч. Вона поставить частковий (або повний) порядок на множині символів A . Це дозволить об'єднати максимальну кількість символів в рядках, щоб побудувати граф необхідного вигляду.

3. Аналіз результатів

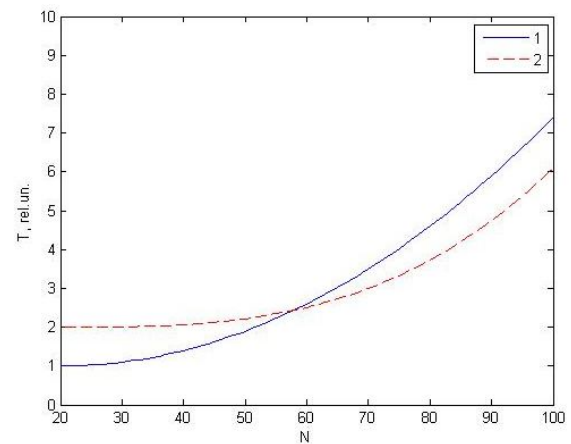
Для аналізу ефективності запропонованого методу синтезу архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning була розроблена імітаційна модель даного процесу. При проведенні моделювання фіксувалися всі вхідні дані моделі, крім кількості вузлів комп'ютерної системи (N). Як вихідних даних розглядалося час пошуку оптимального варіанта синтезу комп'ютерної системи. Результати моделювання показані на рис. 1.

Аналіз результатів моделювання показав, що запропонований метод доцільно застосовувати при синтезі архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning з великою кількістю вузлів. Так, графіки рис. 1, а показують незначний програв за часом при використанні запропонованого методу. Очевидна причина цього – часові витрати на стратифікацію графа G_A . Однак, зі збільшенням кількості вузлів перевага декомпозиційного методу наростає (рис. 1, б, в). Отже, при синтезі архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning на етапі формування зв'язків між компонентами необхідно для зменшення часу процесу застосовувати декомпозиційний метод

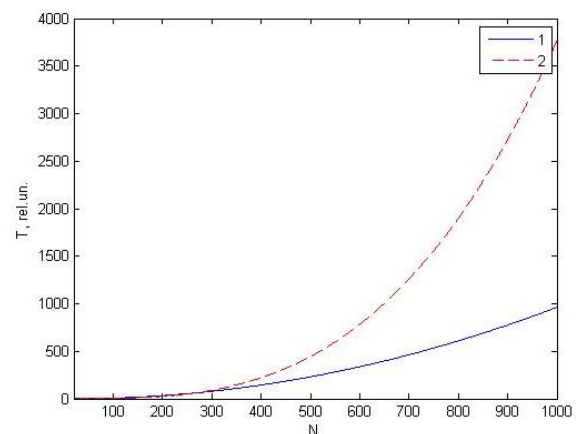
Висновки

В роботі розглянуто задачу синтезу архітектури сучасної комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. Проаналізовано основні етапи синтезу архітектури. Обґрунтовано необхідність проведення попередньої декомпозиції, структуризації і формалізації системи. Наведено основні етапи ієрархічної послідовності процесу декомпозиції. Розроблено декомпозиційний метод синтезу архітектури комп'ютерної системи на основі стратифікації орієнтованого графа варіантів реалізації КС. Розроблено імітаційну модель даного процесу.

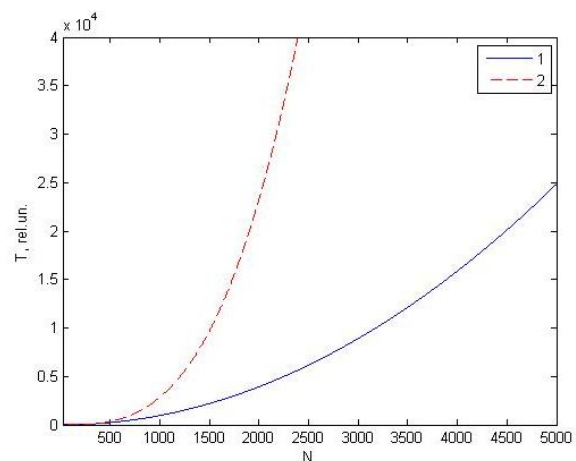
Результати моделювання показали доцільність застосування розробленого методу при синтезі архітектури комп'ютерної системи з великою кількістю вузлів. Так, при $N < 60$ застосування даного методу недоцільно. При кількості вузлів КС $60 < N < 100$ практичного виграшу за часом синтезу не досягається. Однак, при $N > 100$ виграш стає помітним. При цьому зі збільшенням кількості вузлів перевага декомпозиційного методу наростає.



а



б



в

Рис. 1. Залежність часу пошуку оптимального рішення від розмірності мережі: 1 – декомпозиція мережі за рівнями стратифікації; 2 – без декомпозиції мережі; а – малі системи ($N < 100$); б – середні системи ($100 < N < 1000$); в – великі системи ($N > 1000$)

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шматков С. І. Модель інформаційної структури гіперконвергентної системи підтримки електронних обчислювальних ресурсів університетської e-learning / С. І. Шматков, Н. Г. Кучук, В. В. Донець // Системи управління, навігації та зв'язку : науковий журнал. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 2 (48). – С. 97-100.
2. Donets V. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process / V. Donets, N. Kuchuk, S. Shmatkov // Сучасні інформаційні системи. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 117-121.
3. Hamed Dinari. A Survey on Graph Queries Processing: Techniques and Methods / Hamed Dinari // Int. Journal of Computer Network and Inf. Security (IJCNIS). – 2017. – Vol. 9, No. 4. – P. 48-56. – URL : <http://dx.doi.org/10.5815/ijcnis.2017.04.06>.

4. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы (4-е издание) / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – Санкт-Петербург : Питер, 2012. – 943 с.
5. Kuchuk G.A. Method of optimal allocation of relational tables / G.A. Kuchuk, Yu.A. Akimova, L.A. Klimenko // *Engineering Simulation*. – 2000. – Vol. 17. – P. 681-689.
6. Gelenbe E. Analysis and Synthesis of Computer Systems (2nd Edition) / E. Gelenbe, G. Pujolle // *Advances in Computer Science and Engineering*. – 2010. – Vol. 4. – 309 p.
7. Merlac V. Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk, A. Nechausov // *Conf. Proc. of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018. Ukraine, Kyiv, May 24-27, 2018.* – P. 136-140. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>.
8. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaev, M. Mozhaev; H. Kuchuk // *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017.* – 2017. – P. 359 – 362. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>.
9. Mukhin V. The Method of Variant Synthesis of Information and Communication Network Structures on the Basis of the Graph and Set-Theoretical Models / V. Mukhin, Yu. Romanenkov, Ju. Bilokin, A. Rohovyi, A. Kharazii, V. Kosenko, N. Kosenko, Ju. Su // *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*. – 2017. – Vol.9, No.11. – P. 42-51. – URL : <http://dx.doi.org/10.5815/ijisa.2017.11.06>
10. Коваленко А.А. Сучасний стан та тенденції розвитку комп'ютерних систем об'єктів критичного застосування / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – Полтава . ПНТУ, 2018. – Вип. 1(47). – С. 110-113
11. Mozhaev O. Multiservice network security metric / O. Mozhaev, H. Kuchuk, N. Kuchuk, M. Mykhailo, M. Lohvynenko // *2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings.* – 2017. – P. 133-136.
12. Косенко В. В. Моделювання технічної інформації та телекомунікаційної мережі на основі її особливого впровадження інформації / В. В. Косенко, Н. Г. Кучук // *Системи обробки інформації*. – Харків: ХУПС, 2016. – Вип. 9 (146). – С. 167-171.
13. Ayodeji J. Limitations of Passively Mapping Logical Network Topologies / Ayodeji J. Akande, Colin Fidge, Ernest Foo // *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*. – 2017. – Vol. 9, No. 2. – P. 1-11. – URL : <http://dx.doi.org/10.5815/ijcnis.2017.02.01>.
14. Zhang M. Hu. TreePi: A Novel Graph Indexing Method / Zhang, M. Hu, and J. Yang // *IEEE 23rd International Conference on Data Engineering.* – Istanbul, 2007. – P. 966-975.
15. Kuchuk G. Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems / G. Kuchuk, V. Kharchenko, A. Kovalenko, E. Ruchkov // *Proceeding of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016)*. – 2016. – P. 384-389. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
16. Кучук Г. А. Управление ресурсами инфокоммуникаций / Г. А. Кучук, Р. П. Гахов, А. А. Пашнев. – Москва: Физматлит, 2006. – 220 с.
17. Xifeng Y. Graph indexing: a frequent structure-based approach / Yan, Xifeng, S.Philip Yu, J.Han // *ACM SIGMOD international conference on Management of data.* – 2004. – P. 335-346.

REFERENCES

1. Shmatkov, S.I., Kuchuk, N.G. and Donets, V.V. (2018), "Model of information structure of the hyperconvergent system of support of electronic computing resources of university e-learning", *Control systems, navigation and communication*, Poltava, No. 2 (48), pp. 97-100.
2. Donets, V., Kuchuk, N. and Shmatkov, S. (2018), "Development of software of e-learning information system synthesis modeling process", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 117-121.
3. Hamed, Dinari (2017), "A Survey on Graph Queries Processing: Techniques and Methods", *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, Vol. 9, No. 4, pp. 48-56, available at: <http://dx.doi.org/10.5815/ijcnis.2017.04.06>.
4. Oлифер, V.G., Oлифер, N.A. (2012), *Computer Networks. Principles, Technologies, Protocols*, (4th Edition), St.Petersburg : Piter, 943 p.
5. Kuchuk, G.A., Akimova, Yu.A. and Klimenko, L.A. (2000), "Method of optimal allocation of relational tables", *Engineering Simulation*, Vol. 17, pp. 681-689.
6. Gelenbe, E. and Pujolle, G. (2010), "Analysis and Synthesis of Computer Systems", *Advances in Computer Science and Engineering*, Texts. Vol. 4, 309 p.
7. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N. and Nechausov A. (2018), "Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform", *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018, Ukraine, Kyiv, May 24-27*, pp. 136-140, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114>.
8. Nina Kuchuk; Oleksandr Mozhaiev; Mykhailo Mozhaiev and Heorgii Kuchuk (2017), "Method for calculating of R-learning traffic peakedness", *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017 – Proceedings*, pp. 359 – 362, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416>.
9. Mukhin, V., Romanenkov, Yu., Bilokin, Ju., Rohovyi, A., Kharazii, A., Kosenko, V., Kosenko, N. and Su Ju. (2017), "The Method of Variant Synthesis of Information and Communication Network Structures on the Basis of the Graph and Set-Theoretical Models", *International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA)*, Vol. 9, No. 11, pp.42-51. available at:<http://dx.doi.org/10.5815/ijisa.2017.11.06>
10. Kovalenko, A.A., Kuchuk, G.A. (2018) "Current state and trends of development of computer systems of objects of critical application", *Control, navigation and communication systems*. – PNTU, Poltava, No. 1 (47), pp. 110-113.

11. Mozhaev, O., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mykhailo, M. and Lohvynenko, M. (2017), "Multiservice network security metric", *2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies*, – Proceedings, pp. 133-136.
12. Kosenko, V.V. and Kuchuk, N.G. (2016), "Modeling of Technical Information and Telecommunication Network Based on its Particular Implementation of Information", *Information Processing Systems*, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, No. 9 (146), pp. 167-171.
13. Ayodeji, J. Akande, Colin, Fidge and Ernest, Foo (2017), "Limitations of Passively Mapping Logical Network Topologies", *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, Vol. 9, No. 2, pp.1-11, 2017, available at: <http://dx.doi.org/10.5815/ijcnis.2017.02.01>.
14. Zhang, M. Hu, and Yang J. (2007), "TreePi: A Novel Graph Indexing Method", *IEEE 23rd International Conference on Data Engineering*, Istanbul, pp. 966-975.
15. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", *Proceeding of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016)*, pp. 384-389, 2016, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655>.
16. Kuchuk, G.A., Gakhov, R.P. and Pashnev A.A. (2006), *Infocommunication Resources Management*, Fizmatlit, Moscow, 220 p.
17. Xifeng, Yan, Philip S.Yu. and Han J. (2004), "Graph indexing: a frequent structure-based approach", *ACM SIGMOD international conference on Management of data*, pp. 335-346.

Received (Надійшла) 25.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

Синтез архитектуры компьютерной системы управления транзакциями e-learning

И. С. Зыков, Н. Г. Кучук, С. И. Шматков

В работе рассмотрена задача синтеза архитектуры современной компьютерной системы для управления транзакциями e-learning. **Цель статьи** – разработка декомпозиционного метода синтеза архитектуры компьютерной системы управления транзакциями e-learning на основе стратификации ориентированного графа вариантов реализации компьютерной системы. **Результаты исследования.** Проанализированы основные этапы синтеза архитектуры. Обоснована необходимость проведения предварительной декомпозиции, структуризации и формализации системы. Приведены основные этапы иерархической последовательности процесса декомпозиции. Разработан декомпозиционный метод синтеза архитектуры компьютерной системы на основе стратификации ориентированного графа вариантов реализации компьютерной системы. Разработана имитационная модель данного процесса. Результаты моделирования показали целесообразность применения разработанного метода при синтезе архитектуры компьютерной системы с большим количеством узлов. **Выводы.** В работе рассмотрена задача синтеза архитектуры современной компьютерной системы для управления сложным распределенным объектом. Проанализированы основные этапы синтеза архитектуры. Обоснована необходимость проведения предварительной декомпозиции, структуризации и формализации системы. Приведены основные этапы иерархической последовательности процесса декомпозиции. Разработан декомпозиционный метод синтеза архитектуры компьютерной системы на основе стратификации ориентированного графа вариантов реализации КС. Разработана имитационная модель данного процесса. Результаты моделирования показали целесообразность применения разработанного метода при синтезе архитектуры компьютерной системы с большим количеством узлов. Так, при $N < 60$ применение данного метода нецелесообразно. При количестве узлов КС $60 < N < 100$ практического выигрыша по времени синтеза не достигается. Однако, при $N > 100$ выигрыш становится заметным. При этом с увеличением количества узлов преимущество декомпозиционного метода нарастает.

Ключевые слова: e-learning; компьютерная система; транзакция; синтез; система управления; декомпозиция; стратификация.

Architecture synthesis of the computer system of transaction control e-learning

I. Zykov, N. Kuchuk, S. Shmatkov

The paper deals with the problem of synthesizing the architecture of a modern computer system for managing e-learning transactions. **The purpose of the article** is the development of a decomposition method for the synthesis of the architecture of the computer system of transaction management e-learning based on the stratification of the oriented graph of options for implementation of the computer system. **Research results.** The main stages of the synthesis of architecture are analyzed. The necessity of the preliminary decomposition, structuring and formalization of the system is substantiated. The main stages of the hierarchical sequence of the decomposition process are given. Developed by the deck is a positional method for synthesizing a computer system architecture based on the stratification of an oriented graph of options for implementing a computer system. A simulation model of this process has been developed. The results of the simulation showed the feasibility of applying the developed method in the synthesis of the architecture of a computer system with a large number of nodes. **Conclusions/** The paper considers the problem of synthesis of the architecture of a modern computer system for managing a complex distributed object. The main stages of the synthesis of architecture are analyzed. The necessity of preliminary decomposition, structuring and formalization of the system is substantiated. The main stages of the hierarchical sequence of the decomposition process are presented. A decomposition method is synthesized for the architecture of a computer system based on the stratification of a focused graph of the implementation options of the COP. The simulation model of this process is developed. The simulation results showed the expediency of applying the developed method to the synthesis of the architecture of a computer system with a large number of nodes. Thus, at $N < 60$ the application of this method is not practical. With the number of nodes COP $60 < N < 100$, no practical gain in time for synthesis is not achieved. However, at $N > 100$ the winning becomes noticeable. Moreover, with the increase in the number of nodes, the advantage of the decomposition method increases.

Keywords: e-learning; computer system; transaction; synthesis; control system; decomposition; stratification.

А. В. Ізмайлов¹, Л. Б. Петришин^{1,2}¹ Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна² AGH Науково-технологічний університет, Краків, Польща

ЦИФРОВА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛІННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ШВИДКОГО ОРТОГОНАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ НА ОСНОВІ ТРІЙКОВИХ СИМЕТРИЧНИХ ФУНКЦІЙ

Метою дослідження є синтез швидкого перетворення на основі ортогонального, побудованого з використанням системи трійкових симетричних функцій та оцінювання ефективності його застосування за критерієм операційної складності. **Результати досліджень.** Розглядається ортогональне перетворення на основі трійкових симетричних функцій та його ефективність за критерієм операційної складності. На основі даного ортогонального перетворення синтезоване швидке перетворення за принципом divide-and-conquer. Проведений порівняльний аналіз ефективності розробленого швидкого перетворення з ортогональними перетвореннями Уолша-Адамара та Хаара за критерієм операційної складності. Розроблене швидке перетворення дозволяє реалізувати переваги ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій у задачах цифрової обробки інформації, пов'язаних з ущільненням даних. **Наукова новизна** отриманих результатів полягає в синтезі швидкого ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій та порівнянні ефективності його застосування за критерієм операційної складності з перетвореннями Уолша-Адамара та Хаара. **Подальші дослідження** полягають у розробці та дослідженні альтернативних шляхів реалізації швидкого перетворення та порівняльному оцінюванні ефективності перетворення за відмінними від операційної складності та ступеня декореляції коефіцієнтів перетворення критеріями.

Ключові слова: цифрова обробка інформації; трійкові симетричні функції; швидке ортогональне перетворення; divide-and-conquer.

Вступ

Цифрова обробка інформації є ключовою системою функцією інформаційних та систем управління розпорощеними об'єктами економіки, зокрема промислового виробництва, сфери послуг, управління та зв'язку [1–13]. З даного факту випливає, що ефективні рішення у галузі цифрової обробки інформації сприятимуть підвищенню ефективності перебігу процесів у відповідних галузях застосування.

Аналіз останніх досліджень у галузі цифрової обробки інформації вказує на те, що актуальним завданням є розробка і впровадження методів ортогональних перетворень інформаційних потоків [1–3, 6, 8, 9–12]. Окрім цього, актуальною залишається проблема ефективної, з точки зору швидкодії, реалізації даних перетворень, тобто синтез швидких перетворень [1, 6, 8, 11–14].

Незважаючи на значну кількість досліджень у визначеному напрямі, жодне з них не ставить за мету реалізувати переваги системи трійкових симетричних функцій та породженої нею системи числення, які є відомими [3–5, 12].

У роботі [2] доведена ефективність застосування ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій для задач перетворення сильнокорельованих сигналів у слабокорельовані коефіцієнти. Звідси випливає необхідність та актуальність завдання синтезу на основі даного ортогонального перетворення відповідного швидкого перетворення.

Метою дослідження є синтез швидкого перетворення на основі ортогонального, побудованого з використанням системи трійкових симетричних функцій та оцінювання ефективності його застосування за критерієм операційної складності.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в синтезі швидкого ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій та порівнянні ефективності його застосування за критерієм операційної складності з перетвореннями Уолша-Адамара та Хаара.

Ортогональне перетворення на основі трійкових симетричних функцій

Трійкові симетричні функції задаються аналітичним виразом [3]

$$\text{Ter}_n(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \text{modh}(x - 3^n, 3^{n+1}) < 3^n, \\ 1, & 3^n \leq \text{modh}(x - 3^n, 3^{n+1}) < 2 \cdot 3^n, \\ -1, & 2 \cdot 3^n \leq \text{modh}(x - 3^n, 3^{n+1}) < 3^{n+1}, \end{cases} \quad (1)$$

де n – порядковий номер функції, x – цілочисельний аргумент, $\text{mod}(x, p)$ – допоміжна функція, задана аналітичним виразом:

$$\text{modh}(x, p) = \begin{cases} \text{mod}(x, p) + p, & \text{якщо } x < 0, \\ \text{mod}(x, p), & \text{якщо } x \geq 0, \end{cases} \quad (2)$$

де $\text{mod}(x, p)$ – функція залишку від ділення числа x на число p .

З метою побудови ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій системі (1) модифіковано до вигляду [3, 4]:

$$\text{Ter}_{01_{n,i}}(\theta) = \text{Ter}_{3n-1-i}(\theta * 3^{3^n}), \quad (3)$$

де $n = \log_3 N$ – порядок набору базисних функцій теоретико-числових перетворень, N – кількість функцій у наборі, $\theta = t / T$ – параметр часу, тобто час, нормований до інтервалу T , t – поточне значення часу, $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ – порядковий номер функції.

ції, $Ter_n(\theta)$ – трійкові симетричні функції, які задані аналітичним виразом (1).

Для подолання неповноти системи (3) на її основі побудовано систему добутків [3]:

$$Ter01Mult_{ord,num}(\theta) = \prod_{j=1}^{3^{ord}} Ter01_{ord,3^{ord}-j}(\theta) A_{num+1}^j, \quad (4)$$

де $ord = \log_3(\log_3 N)$ – порядок набору базисних функцій теоретико-числових перетворень, $N = 3^{3^{ord}}$ – кількість функцій у наборі ord , $num = 0, 1, \dots, N-1$ – порядковий номер функції у наборі, t – поточне значення часу, 3^{ord} – кількість функцій $Ter01_{n,i}(\theta)$, які задані аналітичним виразом (3), у наборі ord , A_{num}^j – елемент рядка num та стовпця j матриці трійкового незваженого коду Грея А.

Функції системи (4) не є взаємно ортогональними і з метою подолання даного недоліку у роботі [3] проведена її ортогоналізація за процедурою Грама-Шмідта. Отримана система ортогоналізованих добутків є лінійно незалежною, ортогональною та повною [3] і для спрощення запису може бути позначена як

$$Ter_n^{(i)}(\theta), \quad (5)$$

де $n = \log_3(\log_3 N)$ – порядок набору базисних функцій теоретико-числових перетворень, $N = 3^{3^n}$ – кількість функцій у наборі, $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ – порядковий номер функції у наборі.

Детальний аналіз процедур перетворення системи (1) до вигляду (5) наведений у роботі [3].

Для кожної функції системи (5) можна ввести нормуючий коефіцієнт у вигляді [2]

$$C_n^{(i)} = \sqrt{3^{3^n} / \sum_{t=0}^{3^{3^n}-1} Ter_n^{(i)}(t/3^{3^n})^2}, \quad (6)$$

де $n = \log_3(\log_3 N)$ – порядок набору базисних функцій теоретико-числових перетворень, $N = 3^{3^n}$ – кількість функцій у наборі, $i = 0, 1, 2, \dots, N-1$ – порядковий номер функції у наборі, $Ter_n^{(i)}(\theta)$ – ортогоналізовані добутки трійкових симетричних функцій (5).

Використовуючи функції (5) та коефіцієнти (6), можна побудувати матрицю ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій вигляду [2]

$$T_n = T_n' / \sqrt{N}, \quad (7)$$

де T_n' – матриця розмірності $N = 3^n$ значень функцій системи (5) помножених на коефіцієнти (6).

Дискретне ортогональне перетворення на основі трійкових симетричних функцій одновимірного інформаційного потоку $X = \{X(0), \dots, X(N-1)\}$ в матричному записі подається згідно співвідношення

$$Y = T_n X, \quad (8)$$

де $Y = [Y(0), Y(1), \dots, Y(N-1)]^T$ – N -компонентний вектор спектральних коефіцієнтів ортогонального перетворення, $N = 3^n$, $n = 0, 1, \dots$, T_n – матриця перетворення розміру $N \times N$, яка задана виразом (7), $X = [X(0), X(1), \dots, X(N-1)]^T$ – N -компонентний вектор дискретних значень одновимірного сигналу, для якого здійснюється перетворення. Детальний аналіз формування перетворення (8) наведено у роботі [2].

Швидке ортогональне перетворення на основі трійкових симетричних функцій

У загальному випадку для реалізації перетворення (8) (прямий метод обчислення) необхідно $N(N-1)$ операцій додавання/віднімання, N^2 операцій множення двох елементів та N операцій множення на константу (оскільки мова йде про константу $1/\sqrt{N}$, то даних операцій можна уникнути, попередньо перемноживши на дану константу всі елементи матриці перетворення). Якщо розглянути матриці T_n' (для спрощення візуального аналізу і без втрати загальності, можна розглядати матрицю T_2' розмірності 9×9 (рис. 1)), то можна дійти наступних висновків: по-перше, частину елементів матриці складають нулі; по-друге, присутні елементи, які рівні між собою або рівні за модулем; по-третє, перший рядок матриці завжди складається з одиниць. Отримані висновки вказують на можливість спрощення процедури обчислення перетворення (8), тобто на можливість формування на його основі швидкого перетворення.

1	1	1	1	1	1	1	1	1
$-\sqrt{3}/2$	$-\sqrt{3}/2$	$-\sqrt{3}/2$	0	0	0	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}/2$
$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
$-3/2$	0	$3/2$	0	0	0	$-3/2$	0	$3/2$
$3/2$	0	$-3/2$	0	0	0	$-3/2$	0	$3/2$
0	0	0	$-3/\sqrt{2}$	0	$3/\sqrt{2}$	0	0	0
$1/\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$1/\sqrt{2}$
$-\sqrt{3}/2$	$\sqrt{3}$	$-\sqrt{3}/2$	0	0	0	$\sqrt{3}/2$	$-\sqrt{3}$	$\sqrt{3}/2$
$1/2$	-1	$1/2$	-1	2	-1	$1/2$	-1	$1/2$

Рис. 1. Матриця значень функцій перших двох порядків першого набору системи (5) помножених на коефіцієнти (6)

Найбільш універсальним та інтуїтивним способом спрощення обчислення перетворення є використання рекурсивних процедур зменшення розмірності, зокрема, так званого, методу divide-and-conquer (англ. «Розділяй та володарюй»), який можна вважати одним з найпростіших та найбільш уживаних [7, 9, 14, 15]. Для того, щоб реалізувати швидке перетворення на основі перетворення (8) за допомогою методу divide-and-conquer, необхідно виділити властивості матриць T_n' , які дозволяють на основі матриць молодших порядків обчислювати матриці старших порядків.

Оскільки попереднім перемноженням рядків матриць T_n' на $1/\sqrt{N}$ можна досягти зменшення операційної складності перетворення (8), то доцільно у подальшому аналізувати властивості матриць (7) замість T_n' .

З метою зменшення кількості операцій множення у перетворенні (8) доцільно увести коефіцієнти, на які достатньо буде помножити результати, обчислені за допомогою операцій додавання/віднімання, для обчислення відповідних спектральних коефіцієнтів.

Описані коефіцієнти можна реалізувати у такому вигляді:

$$C_n(i-1) = \sqrt{\frac{1}{3^n}} (T_n')_i^k, k = \underset{j \in NZ(n,i)}{\operatorname{argmin}} |(T_n')_i^j|, \quad (9)$$

де n – порядок матриці T_n' , $(T_n')_i^j$ – елемент матриці T_n' , який знаходиться у i -му рядку та j -му стовпці, $NZ(n, i)$ – множина номерів стовпців ненульових елементів i -го рядка матриці T_n' , $i=1,2,\dots,3^n$.

Множенням кожного з рядків матриці T_n на обернене до відповідного коефіцієнта (9) число (відбувається ділення рядка на відповідний йому коефіцієнт) отримано допоміжні матриці TH_n (матриця TH_2 розмірності 9×9 представлена на рис. 2).

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 & 1 & -2 & 1 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \\ 1 & -2 & 1 & -2 & 4 & -2 & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Допоміжна матриця TH_2 , отримана на основі матриці T_2

Допоміжні матриці TH_n володіють властивостями, які дозволяють рекурентним шляхом на основі матриць молодших порядків обчислювати матриці старших порядків. Функціонування таких властивостей найкраще проілюструвати на прикладі перетворення розмірності $N = 27$, яке може бути обчислене згідно

$$\begin{pmatrix} Y(0) \\ Y(1) \\ Y(2) \\ Y(3) \\ \dots \\ Y(26) \end{pmatrix} = T_3 \begin{pmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ \dots \\ X(26) \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Для спрощення подальших викладок можна, без втрати загальності, опустити множення на коефіцієнти (9) у проміжних етапах перетворення. Першу третину коефіцієнтів можна обчислити таким чином ($X_1(i) = X(0 + 3i) + X(1 + 3i) + X(2 + 3i)$, $i = 0, 1, \dots, 8$):

$$\begin{pmatrix} Y(0) \\ Y(1) \\ Y(2) \\ Y(3) \\ Y(4) \\ Y(5) \\ Y(6) \\ Y(7) \\ Y(8) \end{pmatrix} = TH_2 \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ X(4) \\ X(5) \\ X(6) \\ X(7) \\ X(8) \end{pmatrix} +$$

$$+ TH_2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X(9) \\ X(10) \\ X(11) \\ X(12) \\ X(13) \\ X(14) \\ X(15) \\ X(16) \\ X(17) \end{pmatrix} +$$

$$+ TH_2 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X(18) \\ X(19) \\ X(20) \\ X(21) \\ X(22) \\ X(23) \\ X(24) \\ X(25) \\ X(26) \end{pmatrix} =$$

$$= TH_2 \begin{pmatrix} X(0) + X(1) + X(2) \\ X(3) + X(4) + X(5) \\ X(6) + X(7) + X(8) \\ X(9) + X(10) + X(11) \\ X(12) + X(13) + X(14) \\ X(15) + X(16) + X(17) \\ X(18) + X(19) + X(20) \\ X(21) + X(22) + X(23) \\ X(24) + X(25) + X(26) \end{pmatrix} = TH_2 \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_1(1) \\ X_1(2) \\ X_1(3) \\ X_1(4) \\ X_1(5) \\ X_1(6) \\ X_1(7) \\ X_1(8) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

Аналогічним чином обчислюється третя третина коефіцієнтів:

$$\begin{pmatrix} Y(18) \\ Y(19) \\ Y(20) \\ Y(21) \\ Y(22) \\ Y(23) \\ Y(24) \\ Y(25) \\ Y(26) \end{pmatrix} = TH_2 \begin{pmatrix} X(0) - 2X(1) + X(2) \\ X(3) - 2X(4) + X(5) \\ X(6) - 2X(7) + X(8) \\ X(9) - 2X(10) + X(11) \\ X(12) - 2X(13) + X(14) \\ X(15) - 2X(16) + X(17) \\ X(18) - 2X(19) + X(20) \\ X(21) - 2X(22) + X(23) \\ X(24) - 2X(25) + X(26) \end{pmatrix} = TH_2 \begin{pmatrix} X_1(18) \\ X_1(19) \\ X_1(20) \\ X_1(21) \\ X_1(22) \\ X_1(23) \\ X_1(24) \\ X_1(25) \\ X_1(26) \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Для обчислення другої третини коефіцієнтів перетворення за допомогою рекурентної процедури подібної до (11) та (12) необхідно увести матриці рекурентного перетворення

$$MT_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} = TH_1, \quad (13)$$

$$MT_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}. \quad (14)$$

За умови, що $MTH_1 = MT_2$, допоміжні матриці рекурентного перетворення MTH_p для $p > 1$ визначаються за допомогою аналітичного виразу

$$MTH_p = \begin{bmatrix} MT_2 \otimes MTH_{p-1,1} \\ MT_1 \otimes MTH_{p-1,2} \\ MT_2 \otimes MTH_{p-1,3} \\ \dots \\ MT_1 \otimes MTH_{p-1,3^{p-2}} \\ MT_2 \otimes MTH_{p-1,3^{p-1}} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

де $\otimes$ – добуток Кронекера, $MTH_{p,i}$ – i -й рядок матриці MTH_p .

З використанням матриць (15), другу третину коефіцієнтів перетворення (10) можна обчислити таким чином:

$$\begin{pmatrix} Y(9) \\ Y(10) \\ Y(11) \\ Y(12) \\ Y(13) \\ Y(14) \\ Y(15) \\ Y(16) \\ Y(17) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 & 2 & 0 & -2 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} -X(0) + X(2) \\ -X(3) + X(5) \\ -X(6) + X(8) \\ -X(9) + X(11) \\ -X(12) + X(14) \\ -X(15) + X(17) \\ -X(18) + X(20) \\ -X(21) + X(23) \\ -X(24) + X(26) \end{pmatrix} = MTH_2 \begin{pmatrix} X_1(9) \\ X_1(10) \\ X_1(11) \\ X_1(12) \\ X_1(13) \\ X_1(14) \\ X_1(15) \\ X_1(16) \\ X_1(17) \end{pmatrix}, \quad (16)$$

де $X_1(i+9) = (-X(0+3i)) + X(2+3i)$, $i = 0, 1, \dots, 8$.

У результаті проведених процедур зменшення розмірності з перетворення (10) розмірності $N=27$ отримано три перетворення (11), (12) та (16) розмірності $N=9$. Кожне з них за схожим принципом може бути поділене на три перетворення розмірності $N=3$. Перша третина перетворення (11) може бути обчислена таким чином:

$$\begin{pmatrix} Y(0) \\ Y(1) \\ Y(2) \end{pmatrix} = TH_1 \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1(0) \\ X_1(1) \\ X_1(2) \end{pmatrix} + TH_1 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1(3) \\ X_1(4) \\ X_1(5) \end{pmatrix} + TH_1 \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1(6) \\ X_1(7) \\ X_1(8) \end{pmatrix} = TH_1 \begin{pmatrix} X_1(0) + X_1(1) + X_1(2) \\ X_1(3) + X_1(4) + X_1(5) \\ X_1(6) + X_1(7) + X_1(8) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_2(0) \\ X_2(1) \\ X_2(2) \end{pmatrix}, \quad (17)$$

де $X_2(i) = X_1(0+3i) + X_1(1+3i) + X_1(2+3i)$, $i = 0, 1, 2$.

Для коефіцієнтів перетворення з 3 по 5 спрощення відбувається за такою процедурою:

$$\begin{pmatrix} Y(3) \\ Y(4) \\ Y(5) \end{pmatrix} = MT_2 \begin{pmatrix} -X_1(0) + X_1(2) \\ -X_1(3) + X_1(5) \\ -X_1(6) + X_1(8) \end{pmatrix} = MT_2 \begin{pmatrix} X_2(3) \\ X_2(4) \\ X_2(5) \end{pmatrix}, \quad (18)$$

де $X_2(i+3) = (-X_1(0+3i)) + X_1(2+3i)$, $i = 0, 1, 2$.

Аналогічним до (17) чином обчислюються коефіцієнти з 6 по 8:

$$\begin{pmatrix} Y(6) \\ Y(7) \\ Y(8) \end{pmatrix} = TH_1 \begin{pmatrix} X_2(6) \\ X_2(7) \\ X_2(8) \end{pmatrix}, \quad (19)$$

де $X_2(i+6) = X_1(0+3i) - 2X_1(1+3i) + X_1(2+3i)$, $i = 0, 1, 2$.

Коефіцієнти перетворення (12) обчислюються аналогічно перетворенню (11) і у них фігурують такі значення відповідних величин X_2 ($i = 0, 1, 2$):

$$\begin{aligned} X_2(i+18) &= X_1(18+(0+3i)) + X_1(18+(1+3i)) + \\ &\quad + X_1(18+(2+3i)); \\ X_2(i+21) &= (-X_1(18+(0+3i))) + X_1(18+(2+3i)); \\ X_2(i+24) &= X_1(18+(0+3i)) - 2X_1(18+(1+3i)) + \\ &\quad + X_1(18+(2+3i)). \end{aligned} \quad (20)$$

Рекурсивна процедура зменшення розмірності перетворення для рівності (16) полягає у поділі на такі 3 частини:

$$\begin{pmatrix} Y(9) \\ Y(10) \\ Y(11) \end{pmatrix} = [MT_2 \otimes MT_{2,1}] \times \begin{pmatrix} X_1(9) \\ X_1(10) \\ X_1(11) \\ X_1(12) \\ X_1(13) \\ X_1(14) \\ X_1(15) \\ X_1(16) \\ X_1(17) \end{pmatrix} = MT_2 \begin{pmatrix} MT_{2,1} \begin{pmatrix} X_1(9) \\ X_1(10) \\ X_1(11) \end{pmatrix} \\ MT_{2,1} \begin{pmatrix} X_1(12) \\ X_1(13) \\ X_1(14) \end{pmatrix} \\ MT_{2,1} \begin{pmatrix} X_1(15) \\ X_1(16) \\ X_1(17) \end{pmatrix} \end{pmatrix} = MT_2 \begin{pmatrix} X_2(9) \\ X_2(10) \\ X_2(11) \end{pmatrix}, \quad (21)$$

де $X_2(i+9) = X_1(9+(0+3i)) + X_1(9+(2+3i))$, $i = 0, 1, 2$.

$$\begin{pmatrix} Y(12) \\ Y(13) \\ Y(14) \end{pmatrix} = MT_1 \begin{pmatrix} X_2(12) \\ X_2(13) \\ X_2(14) \end{pmatrix}, \quad (22)$$

де $X_2(i+12) = (-X_1(9+(0+3i))) + X_1(9+(2+3i))$, $i = 0, 1, 2$.

$$\begin{pmatrix} Y(15) \\ Y(16) \\ Y(17) \end{pmatrix} = MT_2 \begin{pmatrix} X_1(10) \\ X_1(13) \\ X_1(16) \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Рівності (17) – (23) полягають в обчисленні 3-точкового перетворення (8), що є, водночас, найменшою можливою розмірністю даного перетворення. Тому наступним кроком у реалізації швидкого перетворення на основі перетворення (10) є підстановка числових значень відповідних матриць та безпосереднє обчислення матричних добутків. Вирази для всіх коефіцієнтів Y перетворення (10) зручно представити у вигляді таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Вирази для обчислення коефіцієнтів перетворення (10)

Коефіцієнт перетворення	Вираз для обчислення відповідного коефіцієнта
$Y(0)$	$C_3(0) * (X_2(0) + X_2(1) + X_2(2))$
$Y(1)$	$C_3(1) * (-X_2(0) + X_2(2))$
$Y(2)$	$C_3(2) * (X_2(0) - 2X_2(1) + X_2(2))$
$Y(3)$	$C_3(3) * (X_2(3) + X_2(5))$
$Y(4)$	$C_3(4) * (-X_2(3) + X_2(5))$
$Y(5)$	$C_3(5) * (X_2(4))$
$Y(6)$	$C_3(6) * (X_2(6) + X_2(7) + X_2(8))$

Закінчення табл. 1

$Y(7)$	$C_3(7)*(-X_2(6)+X_2(8))$
$Y(8)$	$C_3(8)*(X_2(6)-2X_2(7)+X_2(8))$
$Y(9)$	$C_3(9)*(X_2(9)+X_2(11))$
$Y(10)$	$C_3(10)*(-X_2(9)+X_2(11))$
$Y(11)$	$C_3(11)*(X_2(10))$
$Y(12)$	$C_3(12)*(X_2(12)+X_2(13)+X_2(14))$
$Y(13)$	$C_3(13)*(-X_2(12)+X_2(14))$
$Y(14)$	$C_3(14)*(X_2(12)-2X_2(13)+X_2(14))$
$Y(15)$	$C_3(15)*(X_1(10)+X_1(16))$
$Y(16)$	$C_3(16)*(-X_1(10)+X_1(16))$
$Y(17)$	$C_3(17)*(X_1(13))$
$Y(18)$	$C_3(18)*(X_2(18)+X_2(19)+X_2(20))$
$Y(19)$	$C_3(19)*(-X_2(18)+X_2(20))$
$Y(20)$	$C_3(20)*(X_2(18)-2X_2(19)+X_2(20))$
$Y(21)$	$C_3(21)*(X_2(21)+X_2(23))$
$Y(22)$	$C_3(22)*(-X_2(21)+X_2(23))$
$Y(23)$	$C_3(23)*(X_2(22))$
$Y(24)$	$C_3(24)*(X_2(24)+X_2(25)+X_2(26))$
$Y(25)$	$C_3(25)*(-X_2(24)+X_2(26))$
$Y(26)$	$C_3(26)*(X_2(24)-2X_2(25)+X_2(26))$

Із табл. 1 та рекурсивної природи властивостей матриць TH_n та MTH_n випливає, що для обчислення усіх коефіцієнтів перетворення (8) застосовуються операційні блоки, що наведені на рис. 3-8.

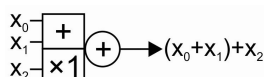


Рис. 3. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1, x_2) = (x_0 + x_1) + x_2$

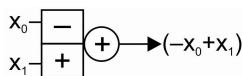


Рис. 4. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1) = (-x_0 + x_1)$

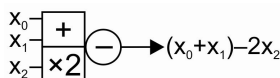


Рис. 5. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1, x_2) = (x_0 + x_1) - 2x_2$

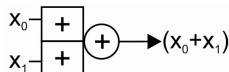


Рис. 6. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1) = (x_0 + x_1)$



Рис. 7. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0) = (x_0)$ (повторювач)



Рис. 8. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0) = (\alpha x_0)$ (помножувач на константу)

Обернене перетворення до перетворення (10) можна подати у вигляді:

$$\begin{pmatrix} X(0) \\ X(1) \\ X(2) \\ X(3) \\ \dots \\ X(26) \end{pmatrix} = T_3^T \begin{pmatrix} Y(0) \\ Y(1) \\ Y(2) \\ Y(3) \\ \dots \\ Y(26) \end{pmatrix} = TH_3^T \begin{pmatrix} Y_0(0) \\ Y_0(1) \\ Y_0(2) \\ Y_0(3) \\ \dots \\ Y_0(26) \end{pmatrix}, \quad (24)$$

де T_3^T – транспонована матриця T_3 , $Y_0(i) = C_3(i) * Y(i)$, $i = 0, 1, \dots, 26$.

Враховуючи ортогональність матриць T_n [2], властивості операції транспонування матриць (у тому числі відносно добутку Кронекера) та властивість асоціативності матричного множення можна сформулювати рекурентну реалізацію перетворення (24), яку можна проілюструвати виразами (25) для обчислення відновлених значень вектора вхідних даних X :

$$\begin{aligned} X(0+3i) &= Y_2(0+i) - Y_2(9+i) + Y_2(18+i), \\ X(1+3i) &= Y_2(0+i) - 2Y_2(18+i), \\ X(2+3i) &= Y_2(0+i) + Y_2(9+i) + Y_2(18+i), \end{aligned}$$

де $i=0, 1, \dots, 8$,

$$\begin{aligned} Y_2(0+3i) &= Y_1(0+i) - Y_1(3+i) + Y_1(6+i), \\ Y_2(1+3i) &= Y_1(0+i) - 2Y_1(6+i), \\ Y_2(2+3i) &= Y_1(0+i) + Y_1(3+i) + Y_1(6+i), \\ Y_2(9+3i) &= Y_1(9+i) - Y_1(12+i), \\ Y_2(10+3i) &= Y_1(15+i), \\ Y_2(11+3i) &= Y_1(9+i) + Y_1(12+i), \\ Y_2(18+3i) &= Y_1(18+i) - Y_1(21+i) + Y_1(24+i), \\ Y_2(19+3i) &= Y_1(18+i) - 2Y_1(24+i), \\ Y_2(20+3i) &= Y_1(18+i) + Y_1(21+i) + Y_1(24+i), \end{aligned} \quad (25)$$

де $i=0, 1, 2$,

$$\begin{aligned} Y_1(0+6i) &= Y_0(0+(0+6i)) - Y_0(1+(0+6i)) + Y_0(2+(0+6i)), \\ Y_1(1+6i) &= Y_0(-1+(1+6i)) - 2Y_0(1+(1+6i)), \\ Y_1(2+6i) &= Y_0(-2+(2+6i)) + Y_0(-1+(2+6i)) + Y_0(0+(2+6i)), \end{aligned}$$

де $i=0, 1, \dots, 4$,

$$\begin{aligned} Y_1(3+6i) &= Y_0(0+(3+6i)) - Y_0(1+(3+6i)), \\ Y_1(4+6i) &= Y_0(1+(4+6i)), \\ Y_1(5+6i) &= Y_0(-2+(5+6i)) + Y_0(-1+(5+6i)), \end{aligned}$$

Із рівностей (25) випливає, що для відновлення вхідних даних перетворення (10) за допомогою оберненого перетворення окрім операційних блоків, які зображені на рис. 3 – 8, застосовуються операційні блоки, що наведені на рис. 9-11.

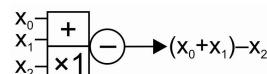


Рис. 9. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1, x_2) = (x_0 + x_1) - x_2$

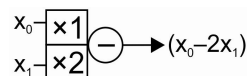


Рис. 10. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1) = (x_0 - 2x_1)$

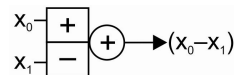


Рис. 11. Операційний блок, який реалізовує функцію $f(x_0, x_1) = (x_0 - x_1)$ (вводиться з метою спрощення візуального сприйняття схеми перетворення)

Використовуючи операційні блоки, які зображені на рис. 3 – 11, можна реалізувати графічну схему (рис. 12) швидкого перетворення (8) для кількості відліків $N = 27$. Зі схеми швидкого ортогонального перетворення (рис. 12) випливає, що кількість операцій додавання/віднімання та множення на константу в прямому та оберненому перетвореннях співпадають і рівні, відповідно, 134 та 27. Окрім цього, перша

ітерація прямого і остання ітерація оберненого перетворення містять однакову кількість операцій додавання, аналогічно, друга ітерація прямого і передос-

таня ітерація оберненого і т.д. Необхідно зазначити, що при підрахунку операцій операція множення на 2 розглядалась як сума двох однакових чисел.

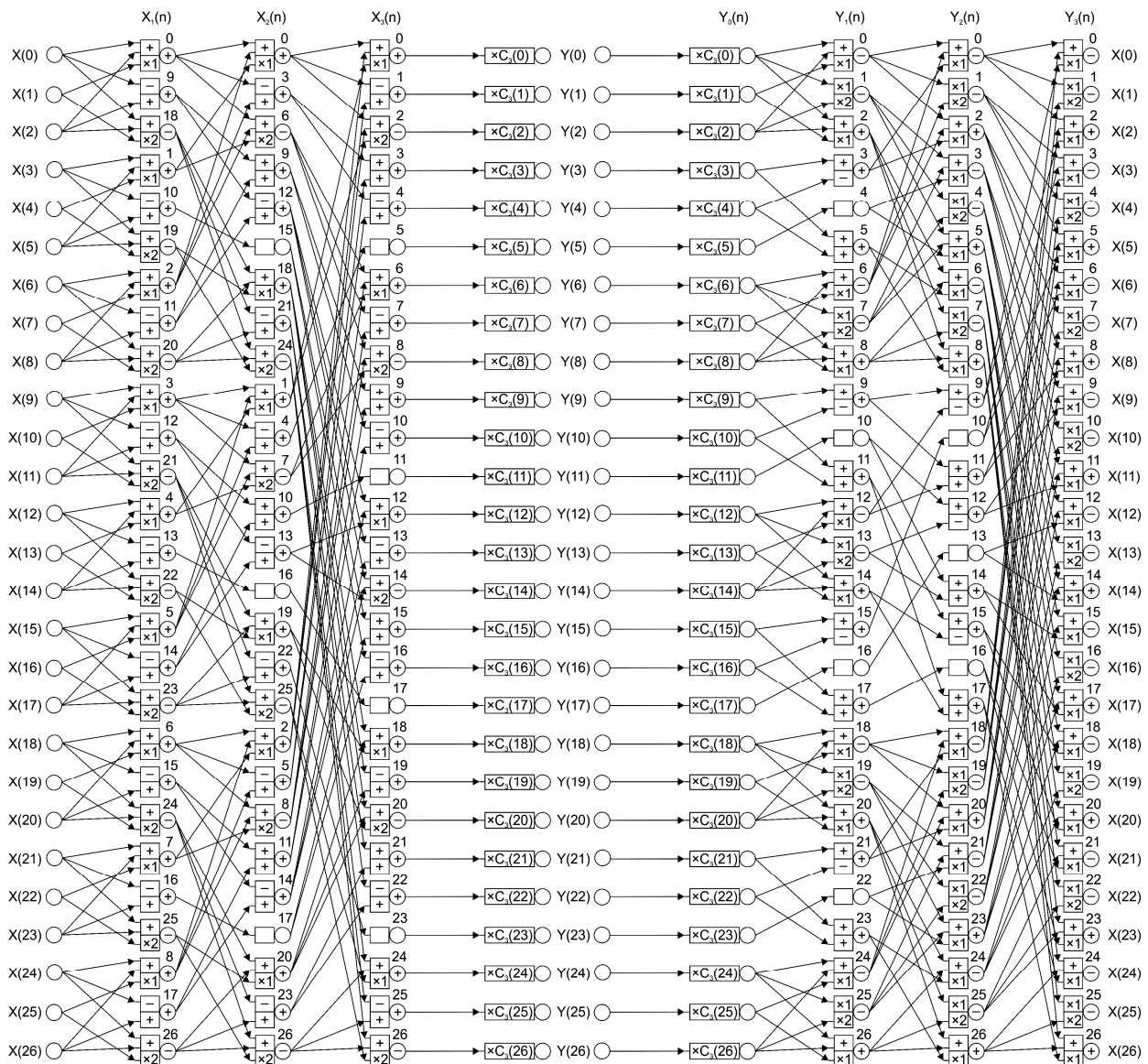


Рис. 12. Схема швидкого ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій розмірності $N=27$, реалізованого за принципом divide-and-conquer

Аналіз схеми прямого перетворення на рис. 12 вказує, що для реалізації першої ітерації швидкого перетворення необхідно

$$(N/3) \cdot 2 + (N/3) \cdot 1 + (N/3) \cdot 3 = 2N \quad (26)$$

операцій додавання/віднімання. Дане твердження можна узагальнити для довільного допустимого N (яке вказує на розмірність перетворення), враховуючи, що із рівностей (11), (12) та (16) випливає, що на першій ітерації співвідношення кількостей операційних блоків залишається незмінним. У випадку другої ітерації кількість операцій додавання/віднімання впливає зі співвідношення (27), а у випадку третьої – зі співвідношення (28).

$$(N/3 - N/9) \cdot (2 + 1 + 3) + (N/9) \cdot (1 + 1). \quad (27)$$

$$(N/3 - (N/9 + N/27)) \cdot (2 + 1 + 3) + (N/9 + N/27) \cdot (1 + 1). \quad (28)$$

Співвідношення (27) та (28) не можна узагальнити для довільного допустимого N , якщо розглядати їх у відношенні до другої та третьої ітерації перетворення, однак, це можна зробити, якщо розглядати їх у відношенні до, відповідно, передостанньої та останньої ітерації перетворення. Очевидним є факт, що вирази для обчислення кількості операцій додавання/віднімання для ітерацій від другої до останньої мають подібну (у певній мірі, рекурентну) структуру, на основі якої можна сформулювати єдиний аналітичний вираз для обчислення кількості операцій на кожній зі згаданих ітерацій. Послідовність чисел $N/9$, $N/27$ і т.д. утворює геометричну прогресію зі знаменником $1/3$, а їх сума може бути обчислена, як сума перших $\log_3 N - j$ ($j=1$ у випадку останньої ітерації і $j=\log_3 N - 1$ у випадку другої) членів відповідної прогресії. Виконавши елементарні перетворення описаного виразу суми геометричної про-

гресії отримано загальний вираз (29) кількості операцій додавання/віднімання в одній ітерації для ітерацій від другої до останньої.

$$\left(N/3 - (N - 3^j)/6 \right) \cdot 6 + \frac{N - 3^j}{6} \cdot 2 = \frac{4N}{3} + 2 \cdot 3^{j-1}, \quad (29)$$

де $j = \log_3 N - (i-1)$, $i=2,3,\dots,\log_3 N$ – номер ітерації, $N=3^n$ – розмірність перетворення, $n=2,3,\dots$

На основі виразів (26) та (29) і очевидного факту, що кількість ітерацій у швидкому перетворенні (8) розмірності N рівна $\log_3 N$, можна сформулювати загальний вираз (30) для обчислення сумарної кількості операцій додавання/віднімання для перетворення розмірності N . При цьому, у виразі (30) враховано, що послідовність других доданків правої частини рівності (29) при збільшенні величини j утворює геометричну прогресію з першим членом 2 та знаменником 3.

$$2N + (\log_3 N - 1) \cdot (4N/3) + 2 \cdot (3^{\log_3 N - 1} - 1)/(3 - 1) = \quad (30)$$

$$= N - 1 + 4N \log_3 N / 3.$$

З принципів формування коефіцієнтів (9) та механізмів реалізації швидких прямого та оберненого перетворень випливає, що кількість операцій множення на константу для реалізації швидкого перетворення на основі перетворення (8) розмірності N рівна N . Даний факт та вираз (30) дозволяють здійснити порівняння ефективності застосування для цифрової обробки інформації перетворення (8) з іншими ортогональними перетвореннями за критерієм операційної складності.

Оцінка ефективності за критерієм операційної складності

Критерій операційної складності дозволяє оцінити швидкодію ортогонального перетворення незалежно від конкретної апаратної реалізації [7, 9, 15]. Оцінка здійснюється за кожним типом операцій окремо, вказуючи на переваги і недоліки з точки зору конкретного типу операцій. За даним критерієм перетворення є більш ефективним у порівнянні з іншими, якщо воно володіє меншою операційною складністю за певним типом операцій. У цифровій обробці інформації операційну складність прийнято описувати функціями (аналітичними виразами) від розмірності вхідного вектора (N) [1, 7–9, 15].

Як і у випадку критерію ступеня зменшення кореляції коефіцієнтів перетворення порівняно з елементами вхідного вектора (робота [2]) порівняння за критерієм операційної складності проведено між перетворенням (8) (Ter) та ортогональними перетвореннями Уолша-Адамара (Wal) і Хаара (Har). Результати порівнянь за критерієм операційної складності наведено у табл. 2. Дані у табл. 3 дозволяють зробити висновки про те, що перетворення (8) володіє більшою операційною складністю за операціями додавання/віднімання у порівнянні з перетворенням Хаара (в середньому на 156%) та перетворенням Уолша-Адамара при $N < 81$ (в середньому на 9%), але меншою у порівнянні з останнім при $N \geq 81$ (в середньому на 4,5%). Це означає, що,

у загальному випадку, розроблене перетворення (8) у даному вигляді не рекомендоване до використання у системах цифрової обробки інформації, для яких головним пріоритетом є швидкодія.

Таблиця 2 – Операційна складність ортогональних перетворень за типами арифметичних операцій

Перетворення	Операційна складність за типами арифметичних операцій	
	додавання/віднімання	множення на константу
Wal	$N \log_3 N$	N (з урахуванням множення на $1/N$)
Har	$2(N-1)$	N
Ter	$N - 1 + 4/3 \cdot N \log_3 N$	N

Із табл. 2 можна зробити висновок, що за складністю відносно операції множення на константу проаналізовані перетворення мають однакову ефективність, тому більш детальному аналізу підлягає складність відносно операцій додавання/віднімання (табл. 3).

Таблиця 3 – Кількість операцій додавання/віднімання для різних значень розмірності ортогональних перетворень

N	Wal	Har	Ter
8	24	14	27,19
9	28,53	16	32
16	64	30	68,84
27	128,38	52	134
32	160	62	165,60
64	384	126	386,04
81	513,53	160	512
128	896	254	880,75
243	1925,74	484	1862
256	2048	510	1977,86

Однак, у системах, у яких головним пріоритетом є ступінь ущільнення даних, дане перетворення рекомендоване до використання у зв'язку з результатами отриманими за критерієм ступеня зменшення кореляції коефіцієнтів перетворення порівняно з елементами вхідного вектора [2]. Окрім цього, у випадку пріоритету швидкодії, винятком із загальних рекомендацій є системи, у яких на основі перетворення Уолша-Адамара опрацьовуються послідовності даних довжиною > 64 відліків, оскільки застосування перетворення (8) у таких системах дозволить збільшити швидкість функціонування системи.

Висновки

Побудоване на основі трійкових симетричних функцій ортогональне перетворення (8) у формі матричного добутку не реалізує усі можливості спрощення процедури його обчислення, якими володіють матриці даного перетворення. Реалізувати їх дозволяє обчислення даного перетворення за принципом divide-and-conquer.

Реалізоване швидке перетворення на основі ортогонального перетворення (8) за принципом divide-and-conquer дозволило зменшити, у порівнянні з безпосереднім обчисленням у вигляді матричного

добутку, операційну складність перетворення (8) за операціями типу додавання/віднімання на 81,35%, відмовитись від операцій множення двох чисел з плаваючою комою (складність за даним типом операцій зменшилась на 100%) та залишити незмінною кількість необхідних операцій множення на константу, яка дорівнює розмірності перетворення і у певній мірі може вважатись мінімально можливою для рекурентної процедури перетворення.

Отримані покращення з точки зору операційної складності дозволяють у більшій мірі реалізувати досліджені [2] переваги перетворення (8) в завданнях ущільнення даних у системах цифрової обробки інформації, для яких швидкодія функціонування не

є першочерговим пріоритетом. Для систем з першочерговим пріоритетом швидкодії застосування перетворення (8) у даному вигляді є обмеженим, на що вказали результати порівняльної оцінки ефективності розробленого швидкого перетворення (8) за критерієм операційної складності (табл. 2, 3).

Подальші дослідження полягають у розробці та дослідженні альтернативних шляхів реалізації швидкого перетворення на основі перетворення (8) та порівняльному оцінюванні ефективності перетворення (8) за відмінними від операційної складності та ступеня декореляції коефіцієнтів перетворення критеріями та визначенні кола задач, для вирішення яких перетворення (8) є найбільш пристосованим.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Thompson A., The Cascading Haar Wavelet Algorithm for Computing the Walsh–Hadamard Transform / A. Thompson // *IEEE Signal Processing Letters*. – July 2017. – Vol. 24, No. 7. – P. 1020-1023. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2017.2705247>.
2. Ізмайлов А. В. Застосування ортогонального перетворення на основі трійкових симетричних функцій для цифрової обробки інформації / А. В. Ізмайлов // *Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації : тези доповідей Шостої міжн. науково-практичної конф., м. Вінниця, 24-25 жовтня 2017 року.* – Вінниця: ВНТУ, 2017. – С. 93-96.
3. Izmailov A., Petryshyn L., "Symmetric ternary functions and their application in orthogonal transforms," 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), Kiev, 2017, P. 836-841. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100364>.
4. Ізмайлов А. В. Трійкові симетричні функції та їх застосування у цифровій обробці інформації / А. В. Ізмайлов, Л. Б. Петришин // *Системи обробки інформації.* — 2016. — № 4. — С. 41-44.
5. Hayes B., Computing science. Third base. A reprint from *American Scientist*, the magazine of Sigma Xi, the Scientific Research Society, Vol. 89, No. 6. November–December 2001, P. 490-494.
6. Jain P., Fast computation of the discrete Hartley transform / P. Jain, B. Kumar, S.B. Jain, // *International Journal of Circuit Theory and Applications*. – 2010. – Vol. 38, No. 4. – P. 409-417. – URL : <http://dx.doi.org/10.1002/cta.574>.
7. Ahmed N., Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing / N. Ahmed, K.R. Rao // Springer-Verlag, 1975, – P. 263.
8. Блатов И. А. Оценка эффективности применения быстрого дискретного сплайнового вейвлет-преобразования для ослабления коррелированности дискретно заданных данных / И. А. Блатов, Ю. А. Герасимова // *Вестник ВГТУ.* 2015. №5. С.34-36.
9. Wang R., Introduction to Orthogonal Transforms with Applications in Data Processing and Analysis. Cambridge, 2010. – P. 522.
10. Превисокова Н. В. Аналіз ефективності методу кодування інформації на основі ортогонального перетворення Галуа / Н. В. Превисокова // *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».* Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. – № 21 (1193). – Харків: НТУ «ХПІ», 2016. – С. 92-101.
11. Yaroslavsky L. P. Fast Transforms in Image Processing: Compression, Restoration, and Resampling / L.P. Yaroslavsky // *Advances in Electrical Engineering*. – August 2014. – Vol. 2014. – Article ID 276241. – P. 23. – URL : <http://dx.doi.org/10.1155/2014/276241>.
12. Minasyan S. Ternary Haar-Like Transform and Its Application in Spectral Representation of Ternary-Valued Functions / S. Minasyan, R. Stankovic, J. Astola // *Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2009. Lecture Notes in Computer Science*. – Vol 5717. – Berlin: Springer, 2009. – P. 518-525. – URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04772-5_67.
13. Prasad S. Information Fusion in the Redundant-Wavelet-Transform Domain for Noise-Robust Hyperspectral Classification / S. Prasad, W. Li, J.E. Fowler, L.M. Bruce // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – September 2012. – Vol. 50, No. 9. – P. 3474-3486. – URL : <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2012.2185053>.
14. Fu Ch. Ternary recursive fast transforms properties, mutual relations, and circuit realization / Ch. Fu, B.J. Falkowski // *Journal of Circuits, Systems and Computers*. – April 2007. – Vol. 16, No. 02. – P. 155-168. – URL : <http://dx.doi.org/10.1142/S0218126607003459>.
15. Блейхут Р.Э., Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов / Р.Э. Блейхут. – М.: Мир, 1989. – 448 с.

REFERENCES

1. Thompson, A. (July 2017), "The Cascading Haar Wavelet Algorithm for Computing the Walsh–Hadamard Transform", *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 24, No. 7, pp. 1020-1023, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/LSP.2017.2705247>.
2. Izmailov, A.V. (2017), "Application of orthogonal transform on the basis of symmetric ternary functions for digital information processing]", 6th International Scientific Conference : *Methods and Means of Encoding, Protection and Compression of Information*, October 24–25, 2017, Vinnytsia, pp. 93-96.
3. Izmailov, A. and Petryshyn, L. (2017), "Symmetric ternary functions and their application in orthogonal transforms", 2017 *IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Kyiv, 2017, pp. 836-841, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100364>.
4. Izmailov, A.V. and Petryshyn, L.B. (2016), "Symmetric ternary functions and their application in digital information processing", *Information Processing Systems*, No. 4(141), pp. 41-44.
5. Hayes, B. (November–December 2001), "Computing science. Third base", A reprint from *American Scientist*, the magazine of *Sigma Xi*, the *Scientific Research Society*, Vol. 89, No. 6, pp. 490-494.
6. Jain, P., Kumar, B. and Jain, S.B. (2010), "Fast computation of the discrete Hartley transform", *International Journal of Circuit Theory and Applications*, Vol. 38, No. 4, pp. 409-417, available at: <http://dx.doi.org/10.1002/cta.574>.

7. Ahmed, N. and Rao, K.R. (1975), *Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing*, Springer-Verlag, 263 p.
8. Blatov, I.A. and Gerasimova, Yu.A. (2015), "Efficiency evaluation of application of fast discrete spline wavelet transformation for loosening correlation of discretely set data", *Herald of Voronezh National Technical University*, No. 5, pp. 34-36.
9. Wang, R. (2010), *Introduction to Orthogonal Transforms with Applications in Data Processing and Analysis*, Cambridge, 522 p.
10. Prevysokova, N.V. (2016), "Efficiency analysis of the method transform coding information on the Galois functions base", *Herald of the National Technical University "KhPI". Information Science and Modeling*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 21(1193), pp. 92-101.
11. Yaroslavsky, L.P. (2014), "Fast Transforms in Image Processing: Compression, Restoration, and Resampling", *Advances in Electrical Engineering*, Vol. 2014, Article ID 276241, p. 23, available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/276241>.
12. Minasyan, S., Stankovic, R. and Astola, J. (2009), "Ternary Haar-Like Transform and Its Application in Spectral Representation of Ternary-Valued Functions", *Computer Aided Systems Theory – EUROCAST 2009. Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 5717, Springer, Berlin, pp. 518-525, available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04772-5_67.
13. Prasad, S., Li, W., Fowler, J.E. and Bruce, L.M. (September 2012), "Information Fusion in the Redundant-Wavelet-Transform Domain for Noise-Robust Hyperspectral Classification", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 50, No. 9, pp. 3474-3486, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.2012.2185053>.
14. Fu, Ch. and Falkowski, B.J. (2007), "Ternary recursive fast transforms properties, mutual relations, and circuit realization", *Journal of Circuits, Systems and Computers*, Vol. 16, No. 02, pp. 155-168, available at: <http://dx.doi.org/10.1142/S0218126607003459>.
15. Blahut R.E. (1989), *Fast Algorithms for Digital Signal Processing*, Mir, Moscow, p. 448.

Received (Надійшла) 11.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 22.08.2018

Цифровая обработка информации в рассредоточенных системах управления с использованием быстрого ортогонального преобразования на основе троичных симметричных функций

А. В. Измайлов, Л. Б. Петришин

Целью исследования является синтез быстрого преобразования на основе ортогонального, построенного с использованием системы начальных симметричных функций и оценки эффективности его применения по критерию операционной сложности. **Результаты исследований.** Рассматривается ортогональное преобразование на основе троичных симметричных функций и его эффективность по критерию операционной сложности. На основе данного ортогонального преобразования синтезировано быстрое преобразование по принципу divide-and-conquer. Проведен сравнительный анализ эффективности разработанного быстрого преобразования с ортогональными преобразованиями Уолша-Адамара и Хаара по критерию операционной сложности. Разработанное быстрое преобразование позволяет реализовать преимущества ортогонального преобразования на основе троичных симметричных функций в задачах цифровой обработки информации, связанных с уплотнением данных. **Научная новизна** полученных результатов заключается в синтезе быстрого ортогонального преобразования на основе начальных симметричных функций и сравнении эффективности его применения по критерию операционной сложности с преобразованиями Уолша-Адамара и Хаара. **Дальнейшие исследования** заключаются в разработке и исследовании альтернативных путей реализации быстрого преобразования и сравнительном оценке эффективности преобразования по отличиям от операционной сложности и степени декорреляции коэффициентов преобразования критериям.

Ключевые слова: цифровая обработка информации; троичные симметричные функции; быстрое ортогональное преобразование; divide-and-conquer.

Digital information processing in dispersed control systems with application of the fast orthogonal transform based on symmetric ternary functions

A. Izmailov, L. Petryshyn

The paper deals with orthogonal transform based on symmetric ternary functions and its efficiency due to the criterion of operational complexity. **The purpose** of the study is to synthesize a rapid transformation on the basis of an orthogonal, constructed with the use of a system of triple symmetric functions, and to evaluate the effectiveness of its application according to the criterion of operational complexity. **Research results.** Digital information processing (DIP) is an important part of most of the information technologies applied in different areas of economy, production, medicine, etc. Thus, effective solutions in DIP give efficiency increase in all its application areas. Orthogonal transforms play a significant role in DIP processes and therefore, the problem of synthesis of new efficient orthogonal transforms has high practical significance. The former efficiency analysis of orthogonal transform based on symmetric ternary functions due to the criterion of decorrelation degree of the transform coefficients proved its application efficiency for problems of data compression. However, implementation of this orthogonal transform straight in form of matrix multiplication has maximal possible operation complexity. At the same time transform matrices of the described transform give many opportunities for simplifying its calculation. From properties analysis of transform matrices it follows that it is possible to build a fast transform based on the given orthogonal transform using recursive calculation procedure known as divide-and-conquer principle. The described fast transform was successfully built and its efficiency was tested in comparison with Walsh-Hadamard and Haar transforms using the criterion of operational complexity. **The scientific novelty** of the results obtained is the synthesis of a fast orthogonal transformation based on triple symmetric functions and compares the effectiveness of its application with the criterion of operational complexity with the Walsh-Hadamard and Haar transformations. **Further research** is to develop and explore alternative ways to implement rapid conversion and to compare the efficiency of conversion to different from the operational complexity and the degree of decoupling of the coefficients of conversion to the criteria.

Keywords: digital information processing; symmetric ternary functions; fast orthogonal transform; divide-and-conquer.

А. Н. Рысованый

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина

МЕТОД СИНТЕЗА ГЕНЕРАТОРОВ В КОНЕЧНОМ ПОЛЕ GF(3) С УПРОЩЕНИЕМ БЛОКОВ УМНОЖЕНИЯ

Предметом исследования в данной статье является процесс синтеза генераторов нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле GF(3) с упрощением блока умножения. **Цель** – разработать метод синтеза генераторов нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле GF(3) с упрощением блока умножения, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации. **Задача:** на основе анализа известных подходов к генерированию последовательностей разработать метод, который по сравнению с двоичным регистром сдвига позволяет увеличить длину последовательности и упростить схему генерации. Используемыми **подходами** являются: применение циклического кодирования состояний, который позволяет в качестве операции умножения применять перекрестные линии выходов триггеров соответствующего канала регистра, что позволяет существенно упростить блок умножения. Получены следующие **результаты:** метод синтеза генераторов в конечном поле GF(3) с упрощением блоков умножения на коэффициенты, основанный на использовании матрицы связей в качестве основного элемента генерации. Приведен математический аппарат описания функционирования регистра сдвига с нелинейными обратными связями и его функциональная схема. В работе показан пример формирования первого состояния нелинейного регистра сдвига в зависимости от свободного коэффициента образующего полинома. **Выводы.** Предложен метод синтеза генераторов нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле GF(3) с упрощением блока умножения, показаны примеры построения матриц связей в конечном поле тройки.

Ключевые слова: генератор двоичной последовательности; псевдослучайная последовательность; регистр сдвига.

Введение

Генераторы псевдослучайных чисел находят широкое применение в различных областях науки и техники. Такими областями можно считать и научные исследования, и моделирование, и криптографию, и статистику, и различные игры, и развлечения, экспертные системы принятия решений и т.д. [1, 2].

При выборе схем генераторов немаловажное значение имеет длина генерируемой последовательности и простота схемы [3-8]. При этом, генерируемые псевдослучайные последовательности обладают рядом существенных недостатков. Один из главных недостатков – достаточно короткий период генерации таких двоичных последовательностей. Наиболее просто реализуются такие генераторы с использованием сумматоров по mod2. В этом случае длина генерируемой последовательности ограничивается основанием двоичной системы счисления. Кроме того, существенным недостатком является очевидная зависимость генерирования последующей последовательности от предыдущей. Такой недостаток характерен всем алгоритмическим методам генерации последовательностей, но этот недостаток позволяет существенно упростить схему самого генератора.

До настоящего времени проблема создания быстрого, эффективного генератора псевдослучайных чисел по-прежнему не решена. Существует очень большое количество методов и просто схем генераторов псевдослучайных последовательностей, отличающихся как законами их описания, так и простотой реализации. Однако, трудность создания генераторов, лишенных традиционных недостатков, на данный момент, оказалось очень сложной задачей.

Для увеличения длины цикла генерации предлагается использовать в цепи обратных связей реги-

стров сдвига сумматоры по mod3. Такие регистры сдвига, в цепях обратных связей которых производятся нелинейные преобразования, называются нелинейными. Получение псевдослучайной последовательности в конечном поле GF(3), основанной на использовании проверочной матрицы и матрицы связей в качестве основного элемента генерации, а также замена блока умножения на коммутацию линий и является **целью статьи**.

Основные проблемы и решения

Рассмотрим математическую модель функционирования генератора псевдослучайных последовательностей. Предположим, что анализируется последовательность длиной n с помощью регистра сдвига, который имеет r элементов. Обозначим предыдущее состояние j -го элемента как b_j , а следующее – b_j^1 . Тогда предыдущее состояние регистра сдвига из 5 элементов, будет $B = \|b_1, b_2, \dots, b_5\|$, а следующее – $B^1 = \|b_1^1, b_2^1, \dots, b_5^1\|$.

Состояние каждого r_i зависит от состояния других r_j в соответствии с выражением:

$$b_j^1 = a_1 b_1 \oplus a_2 b_2 \oplus a_3 b_3 \oplus a_4 b_4 \oplus a_5 b_5,$$

где $a_i = \{0, 1, 2\}$.

Для n -разрядного регистра сдвига каждое новое состояние спаренных в группу триггеров равно

$$b_j^1 = a_1 b_1 \oplus a_2 b_2 \oplus a_3 b_3 \oplus \dots \oplus a_j b_j \oplus \dots \oplus a_{16} b_{16}.$$

Функциональная схема генератора псевдослучайной последовательности с использованием блока сложения по mod3 с полиномом $P(x) = 2x^5 \oplus_3 x \oplus_3 1$ приведена на рис. 1. Так как при старшей степени аргумента коэффициент 2, то его необходимо в схеме умножить по mod3. Генерируемая последовательность для $P(x) = 2x^5 \oplus_3 x \oplus_3 1$, приведенная в виде матрицы состояний, представлена на рис. 2.

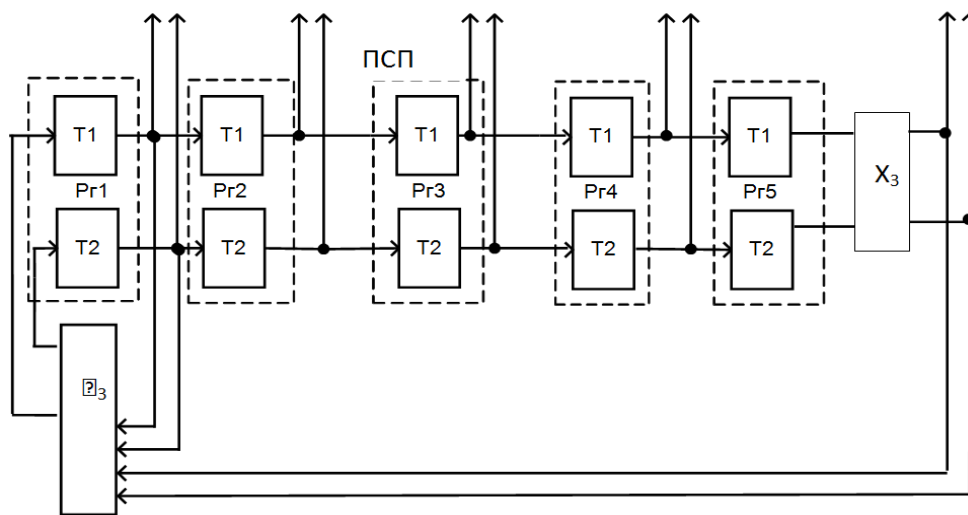


Рис. 1. Функциональная схема генератора псевдослучайных последовательностей с использованием блока сложения по mod3

1	1	1	1	1	0	2	1	0	2	2	0	2	2	0	1	1	2	0	0	2	1	2	2	0	2	0	1	2	2	0	0	2	0	1	1	1	2	2	1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	1	1	1	2	1	0	
0	1	1	1	1	1	0	2	1	0	2	2	0	2	0	1	1	2	0	0	2	1	2	2	0	2	0	1	2	2	0	0	2	0	1	1	1	2	2	1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	1	1	1	2	1	0	
0	0	1	1	1	1	1	0	2	1	0	2	2	0	2	0	1	1	2	0	0	2	1	2	2	0	2	0	1	1	1	2	2	1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	2	0				
0	0	0	1	1	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	1	2	0	0	2	1	2	2	2	0	2	0	1	2	2	0	0	2	0	1	1	1	2	2	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	2	0		
0	0	0	0	1	1	1	1	0	2	1	0	2	2	0	1	1	2	0	0	2	1	2	2	2	0	2	0	1	1	1	2	2	1	0	2	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	2	1	1	1	2	0				
2	1	2	1	2	1	2	1	0	1	0	1	0	0	2	2	1	1	1	2	0	2	1	0	1	2	1	0	2	1	1	2	2	1	2	0	0	1	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	0						
0	2	1	2	1	1	2	1	0	1	0	1	0	0	2	2	1	1	1	2	0	2	1	0	1	2	1	0	2	1	1	2	2	0	2	1	2	0	0	1	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0						
1	0	2	1	2	1	1	2	1	0	1	0	1	0	0	2	2	1	1	1	2	0	2	1	0	1	1	2	1	1	0	2	0	2	1	1	2	2	0	2	1	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	0					
2	1	0	2	1	2	1	1	2	1	0	1	0	0	2	2	1	1	1	2	0	2	1	0	1	2	1	1	0	2	1	1	2	2	0	2	1	2	0	0	1	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0	0	1	0					
1	2	1	0	2	1	2	1	1	2	1	0	1	0	0	2	2	1	1	1	2	0	2	1	0	1	2	1	1	0	2	0	2	1	1	2	2	0	2	1	2	0	0	1	0	1	1	1	0	0	2	1	0	0					
2	2	2	2	2	2	0	1	2	0	1	1	0	1	0	2	2	1	0	0	1	2	1	1	0	1	0	2	1	1	0	0	1	0	2	2	2	1	1	2	0	1	0	2	0	0	2	2	0	0	1	2	2	2	1	2	0		
0	2	2	2	2	2	0	1	2	0	1	1	0	1	0	2	2	1	0	0	1	2	1	1	0	1	0	2	1	1	0	0	1	0	2	2	2	1	1	2	0	1	0	2	0	0	2	2	0	0	1	2	2	2	1	2	0		
0	0	2	2	2	2	2	0	1	2	0	1	1	0	1	0	2	2	1	0	0	1	2	1	1	0	1	0	2	1	1	0	0	1	0	2	0	2	2	1	1	2	0	1	0	2	0	0	2	2	0	0	1	2	2	2	1	2	0
0	0	0	2	2	2	2	2	0	1	2	0	1	1	0	1	0	2	2	1	0	0	1	0	2	1	1	0	0	1	0	2	2	2	1	1	2	0	1	0	2	0	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0					
1	2	1	2	2	1	2	1	2	0	2	0	0	1	1	2	2	1	0	1	2	0	2	2	1	2	0	1	0	1	2	2	1	1	0	1	2	1	0	0	2	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0						
0	1	2	1	2	2	1	2	1	2	0	2	0	0	1	1	2	2	1	0	1	2	0	2	2	1	2	2	0	1	0	1	2	2	1	1	0	1	2	1	0	0	2	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0					
2	0	1	2	1	2	2	1	2	1	2	0	2	0	0	1	1	2	2	1	0	1	2	0	2	2	1	2	2	0	1	0	1	2	2	1	1	0	1	2	1	0	0	2	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0					
1	2	0	1	2	1	2	2	1	2	1	2	0	2	0	0	1	1	2	2	1	0	1	2	0	2	2	1	2	2	0	1	0	1	2	2	1	1	0	1	2	1	0	2	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0	0				
2	1	2	0	1	2	1	2	2	1	2	1	2	0	2	0	0	1	1	2	2	1	0	1	2	0	2	2	1	2	2	0	1	0	1	2	2	1	1	0	1	2	1	0	0	2	0	2	2	0	0	1	2	0	0	0			

Рис. 2. Матрица состояний $P(x) = 2x^5 \oplus_3 x \oplus_3 1$

В связи с тем, что рассматриваемый полином генерирует максимальный период и его $\deg P(X) = 5$:

$$T_{max} = 3^{\deg P(x)} - 1 = 242.$$

Таким образом, длина генерируемой этим полиномом $P(X)$ последовательности равняется 242.

Как следует из рис. 2, первое состояние генератора с $P(x) = 2x^5 \oplus x \oplus 1$ $h_1 = \|10000\|$, второе – $h_2 = \|11000\|$, третье – $h_3 = \|11100\|$ и т.д.

Алгоритм формирования состояний нового столбца заключается в первоначальном сдвиге состояний предыдущего столбца и в формировании нового значения первого регистра. Это значение определяется как сумма по $\text{mod}3$ тех предыдущих значений регистров, номера которых соответствуют степеням образующего полинома, в соответствии с которыми и построена схема самого нелинейного генератора последовательности.

В связи с тем, что в нелинейном регистре кодируется двойной сигнал, то для хранения таких сигналом используются уже не отдельные триггера, а пары таких триггеров, которые принято называть каналом регистров. Связи выходов i -х каналов регистров со входами $i + 1$ каналов регистров описываются (описываются) матрицей связей S . В общем случае такая матрица имеет вид:

$$S = \begin{vmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_{r-1} & a_r \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix},$$

где a_i – коэффициенты образующего полинома,
 $r = \deg P(X)$ – максимальная степень регистра.

В качестве закона функционирования троичного кода используются выражения, которые соответствуют обычным правилам сложения двоичных чисел:

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \rightarrow 00; \\ 0 + 1 &= 1 \rightarrow 01; \\ 1 + 0 &= 1 \rightarrow 01; \\ 1 + 1 &= 2 \rightarrow 10. \end{aligned}$$

Важной особенностью этого правила является то, что сдвиг числа 1 на один разряд влево (то есть умножение на два) соответствует правильному значению – двойке (число 10).

Таким образом, образуется циклический сдвиг, который позволяет в качестве операции умножения применять перекрестные линии выходов триггеров соответствующего канала регистра, что позволяет существенно упростить блок умножения.

Таким образом, для построения генератора в конечном поле GF(3) необходимо выполнить действия:

определиться с длиной генерируемой последовательности;

определиться с максимальной степенью полинома;

выбрать исходное значение;

выбрать образующий полином с учетом предъявляемых к последовательности требований;

вычислить матрицу связей;

вычислить матрицу состояний;

определить длину цикла и сравнить с требуемой длиной;

построить схему с учетом обратных связей и блоков умножения на коэффициент 2 по модулю три.

На рис. 3 приведена схема генератора псевдослучайной последовательности по модулю три.

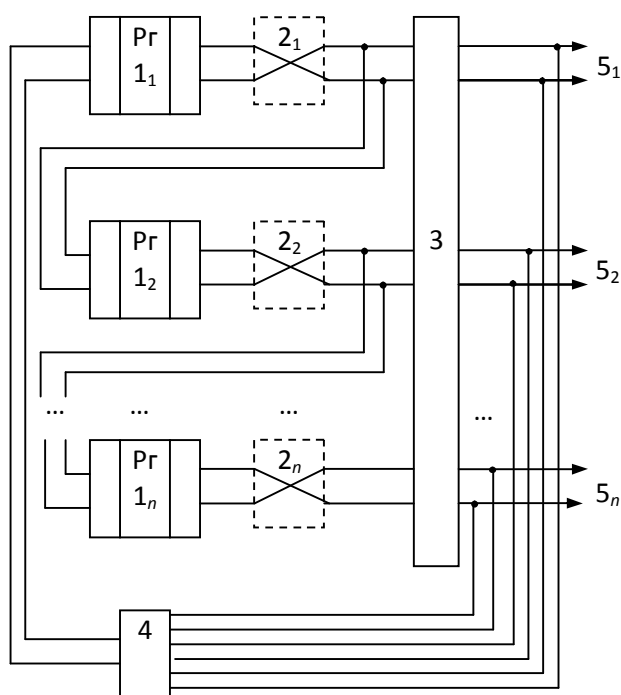


Рис. 3. Схема генератора в общем виде

На рис. 4 приведен пример реализации нелинейного генератора с $P(x) = 2x^4 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 1$.

Устройство включает: группу регистров $1_1 - 1_n$ двухразрядных регистров; группу блоков $2_1 - 2_n$ умножения на два по модулю три, которые выполнены в виде перекрестных линий передачи данных; коммутатор 3, схему сумматора 4 по модулю три и пары выходных сигналов $5_1 - 5_n$ псевдослучайной последовательности. Генератор является схемой, которая осуществляет сдвиг содержимого регистра с учетом обратных связей, которые строятся в соответствии с образующим характеристическим полиномом

$P(x) = a_r x^r \oplus_3 a_{r-1} x^{r-1} \oplus_3 \dots \oplus_3 a_1 x \oplus_3 a_0$, примитивного над конечным полем GF(3). Свободный член характеристического образующего полинома a_0 влияет на вид матрицы состояний и не зависит от связей регистра сдвига, которые задаются матрицей связей S .

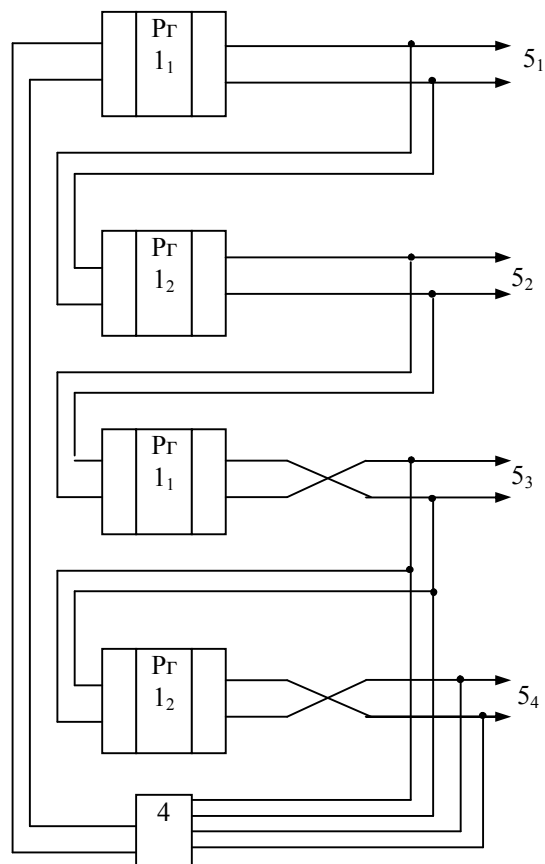


Рис. 4. Схема генератора $P(x) = 2x^4 \oplus_3 2x^4 \oplus_3 1$

На рис. 4 схема коммутатора 3 преобразовывается в цепи соединения выходов двухразрядного регистра со входами сумматора по модулю три с перекрестными линиями передачи данных в случае необходимости умножения на коэффициент 2. Это означает, что если у показателя степени полинома находится двойка, то вместо блока умножения на два по модулю три используется перекрестная передача сигналов, которая и выполняет умножение на два по модулю три.

Выводы

Предложен метод синтеза генераторов нелинейной псевдослучайной последовательности в конечном поле GF(3) с упрощением блока умножения. Такое упрощение возможно при определенном кодировании сигналов, что позволяет в качестве операции умножения применять перекрестные линии выходов триггеров соответствующего канала регистра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блейхут Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки: Пер. с англ. / Р. Блейхут. – М.: Мир, 1986. – 576 с.
2. Муттер В. М. Основы помехоустойчивой телепередачи информации / В. М. Муттер. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 288 с.

3. Рысованый А. Н. Выбор полиномов для нелинейных регистров сдвига с обратными связями по критерию формирования последовательности максимальной длины / А. Н. Рысованый, В. В. Гоготов // Системы управления, навигации и связи. – Киев.: Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления, 2007. – Вып. 1. – С. 77-79.
4. Рысованый А. Н. Метод генерирования нелинейной псевдослучайной последовательности без использования обратных связей / А. Н. Рысованый // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава : ПНТУ, 2018. – Вип. 4 (44). – С. 144-146.
5. Литиков И. П. Кольцевое тестирование цифровых устройств / И. П. Литиков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 160 с.
6. Горяшко А. П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств / А. П. Горяшко. – М.: Наука, 1987. – 288 с.
7. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео / Д. Ватолин, А. Ракушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 384 с.
8. Сорока Л. С. Способ получения псевдослучайной последовательности на основе использования матрицы связей в конечном поле GF(3) / Л. С. Сорока, А. Н. Рысованый, Б. И. Мороз // Патент Украины № u201109344. 2012. Бюл. № 5.

REFERENCE

1. Blehut, R. (1986), *Theory and Practice of Error Control Codes*, Mir, Moscow, 576 p.
2. Mutter, V.M. (1990), *Fundamentals of noise-free TV information*, Energoatomizdat, Leningrad, 288 p.
3. Rysovany, A.N. and Gogot, V.V. (2007), "Selection of polynomials for nonlinear shift registers with feedbacks on the criterion of forming a sequence of maximum length", *Control Systems, Navigation and Communications*, Central Research Institute of Navigation and Control, Kyiv, No. 1, pp. 77 - 79.
4. Rysovany, A.N. (2018), "Method of generating a nonlinear pseudorandom sequence without using feedbacks", *System Control, Navigation and Connection*, PNTU, Poltava, No. 4 (44), pp. 144-146.
5. Litikov, I.P. (1990), *Ring testing of digital devices*, Energoatomizdat, Moscow, 160 p.
6. Goryashko, A.P. (1987), *Synthesis of Diagnosed Computing Device Circuits*, Nauka, Moscow, 288 p.
7. Vatolin, D., Rakushnyak, A., Smirnov, M. and Yukin V. (2002), *Data Compression Methods. Device archivers, image and video compression*, DIALOG-MEPI, Moscow, 384 p.
8. Soroka, L.S., Rysovany, A.N. and Frost B.I. (2012), *A method of obtaining a pseudo-random sequence based on the use of a coupling matrix in the final field GF (3)*, Patent of Ukraine No. u201109344, Byul. No. 5.

Received (Надійшла) 28.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

Метод синтезу генераторів в кінцевому полі GF (3) зі спрощенням блоків множення

О. М. Рисований

Предметом дослідження в даній статті є процес синтезу генераторів нелінійної псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі GF (3) зі спрощенням блоку множення. **Мета** - розробити метод синтезу генераторів нелінійної псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі GF (3) зі спрощенням блоку множення, заснований на використанні матриці зв'язків в якості основного елемента генерації. **Завдання**: на основі аналізу відомих підходів до генерування послідовностей розробити метод, який в порівнянні з двійковим регістром зсуву дозволяє збільшити довжину послідовності і спростити схему генерації. Використовуваними **підходами** є: застосування циклічного кодування станів, який дозволяє в якості операції множення застосовувати перехресні лінії виходів тригерів відповідного каналу регістра, що дозволяє істотно спростити блок множення. Отримані наступні **результати**: метод синтезу генераторів в кінцевому полі GF (3) зі спрощенням блоків множення на коефіцієнти, заснований на використанні матриці зв'язків в якості основного елемента генерації. Наведено математичний апарат опису функціонування регістра зсуву з нелінійними зворотними зв'язками і його функціональна схема. У роботі показаний приклад формування першого стану нелінійного регістра зсуву залежно від вільного коефіцієнта утворюючого полінома. **Висновки**. Запропоновано метод синтезу генераторів нелінійної псевдовипадкової послідовності в кінцевому полі GF (3) зі спрощенням блоку множення, показані приклади побудови матриць зв'язків в кінцевому полі трійки.

Ключові слова: генератор двійкової послідовності; псевдовипадкова послідовність; регістр зсуву.

The method for the synthesis of generators in the terminal field of GF (3)

A. Rysovanyi

The subject of progress in this article is a process of synthesis of generators of independent pseudo-successive messages in the main field of GF (3) for the multiplication unit. The **problem**: develop a method for the synthesis of generators of non-first pseudo-disputable succession in the main field of the GF (3), which is based on a multiply basis based on victorious matrixes of words in the basic element of the generation. **The task**: based on the analysis of known approaches to the generation of sequences, develop a method that, as compared with the binary shift register, allows increasing the length of a sequence and simplifying the generation scheme. The approaches used are: the use of cyclic coding of states, which allows to apply the cross lines of the triggers of the corresponding channel of the register as the multiplication operation, which allows to significantly simplify the multiplication unit. The following results were obtained: a method for synthesizing generators in a finite field GF (3) with a simplification of the multiplication blocks for coefficients, based on the use of a coupling matrix as the main element of generation. The mathematical apparatus for describing the operation of a shift register with nonlinear feedbacks and its functional diagram are given. The paper shows an example of the formation of the first state of a nonlinear shift register, depending on the free coefficient of the generating polynomial. **Conclusions**. A method for synthesizing nonlinear pseudo-random sequence generators in a finite field GF (3) with simplification of the multiplication unit is proposed, examples of constructing a matrix of links in a finite triple field are shown.

Keywords: binary sequence generator; pseudo-random sequence; shift register.

Information systems research

УДК 621.391

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.13

Д. Є. Гришманов¹, Ю. В. Данюк², О. Ю. Несміян², М. А. Павленко²¹ Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

МЕТОД ОЦІНКИ ДІЯЛЬНОСТІ ЧЕРГОВОЇ ЗМІНИ РАЙОННОГО ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО ЦЕНТРУ

Предметом вивчення в статті є процеси діяльності авіаційних диспетчерів чергової зміни районного диспетчерського центру (РДЦ) системи обслуговування повітряного руху. **Метою** є розробка методу оцінки діяльності чергової зміни РДЦ при обслуговуванні повітряного руху. **Завдання:** обґрунтувати можливість застосування системи автоматизованого контролю діяльності авіаційного диспетчера при управлінні повітряним рухом. Застосованими **методами** є методи нечіткої логіки, методи математичної статистики, методи експертних оцінок. Отримані такі **результати**. Запропоновано методику отримання персональних оцінок особами чергової зміни РДЦ. Розроблено метод оцінки діяльності чергової зміни РДЦ, який враховує організацію взаємодії між авіаційними диспетчерами та керівником польотів при обслуговуванні повітряного руху. **Висновки.** Для автоматизованого контролю діяльності чергової зміни РДЦ та напрацювання рекомендацій щодо підвищення якості обслуговування повітряного руху було запропоновано застосовувати метод оцінки діяльності чергової зміни РДЦ, оснований на застосуванні моделей діяльності авіаційного диспетчера.

Ключові слова: авіаційний диспетчер; районний диспетчерський центр; моделювання діяльності авіаційного диспетчера; метод оцінки діяльності чергової зміни РДЦ.

Вступ

Науково-технічний прогрес і пов'язана з ним автоматизація процесів управління істотно змінюють характер і умови праці авіаційних диспетчерів в системі обслуговування повітряного руху. Постійне покращення технічних характеристик повітряних об'єктів, збільшення щільності повітряного трафіку, впровадження нових алгоритмів діяльності з обслуговування повітряного руху, їх різноманітне поєднання, необхідність організації взаємодії між особами чергової зміни РДЦ та засобами автоматизації обумовлюють необхідність впровадження автоматизованих систем контролю (оцінювання) діяльності авіаційних диспетчерів з метою підвищення якості обслуговування повітряного руху.

Аналіз літератури. Аналіз літератури показав [2, 5], що на сучасному етапі контроль діяльності авіаційних диспетчерів здійснюється посадовими особами (контролюючими органами), що залишає місце суб'єктивності та ускладнює проведення аналізу та напрацювання рекомендацій щодо покращення якості обслуговування повітряного руху. Даний факт обумовлює необхідність розробки методики оцінювання діяльності чергової зміни РДЦ, яка базується на моделях діяльності авіаційного диспетчера при обслуговуванні повітряного руху [1].

Метою статті є розробка методу оцінки діяльності чергової зміни РДЦ при обслуговуванні повітряного руху.

Основний матеріал

Контроль діяльності авіаційного диспетчера РДЦ. Основною задачею контролю діяльності авіаційного диспетчера є отримання інформації, необхідної для обґрунтованого судження про успішність

і правильності виконання ним роботи по управлінню повітряним рухом в ході його роботи.

Об'єктивність контролю діяльності диспетчера досягається:

- вибором відповідних інформативних показників;

- об'єктивною реєстрацією його діяльності, необхідною для розрахунку і оцінки обраних показників;

- обґрунтуванням граничних значень показників (нормативів) для визначення оцінок;

- відповідністю умов роботи, що створюються в інтересах об'єктивного контролю, реальним.

Якість діяльності оцінюють по так званим «прямим показникам» – показникам, які характеризують ступінь відповідності результатів діяльності диспетчерів (чергової зміни) поставленій задачі.

При оцінюванні диспетчерів, помилкові дії яких мають серйозний вплив на виконання задачі управління повітряним рухом, поряд з прямими показниками використовуються також «непрямі показники» – показники оцінки фізіологічної «ціни» організму за досягнуті результати. Вибір непрямих показників обумовлений характером діяльності. Як правило, непрямі показники спрямовані на оцінку інтенсивності нервово-емоційної напруги диспетчера в процесі службової діяльності. Так, наприклад, при підготовці пілота найбільш інформативними показниками є частота серцевих скорочень, частота дихання, обсяг легеневої вентиляції і резерви уваги. Застосування таких показників, поряд з прямими показниками – якості діяльності, дозволяє оцінити не тільки результати виконання того чи іншого завдання, а й витрачені ним зусилля. У даній роботі такі показники не розглядаються в силу неоднозначності їх впливу на діяльність диспетчера.

Прямі показники можуть бути частковими та узагальненими. Часткові показники призначені для оцінки якості виконання авіаційним диспетчером окремих операцій, узагальнені – для оцінки діяльності диспетчера в цілому.

До часткових показників оцінки діяльності відносяться:

– ймовірність виконання операції (або всього алгоритму діяльності) за час t , що не перевищує заданого T_0 ;

– ймовірність виконання операції (або всього алгоритму діяльності) з помилками r , що не перевищують заданої величини R_0 ;

– ймовірність того, що кількість L_i безпомилкових рішень, прийнятих в процесі роботи, не менше заданої величини L_0 ;

– середнє значення (математичне сподівання) контрольованого показника;

– середньоквадратичне відхилення (дисперсія) контрольованого показника;

– сукупність середнього значення і середньоквадратичного відхилення контрольованого показника і т. д.

Узагальненим показником оцінки діяльності авіаційного диспетчера є ймовірність виконання поставленої перед ним задачі по управлінню повітряним рухом.

Забезпечення інформативності вихідних даних досягають реалізацією таких вимог:

– дані, одержані в процесі контролю, повинні бути об'єктивними і забезпечувати розрахунок обраних показників із заданою точністю і достовірністю;

– контрольовані параметри повинні мати досить великий розкид (діапазон варіювання) при зміні діяльності авіаційних диспетчерів.

Обґрунтованість граничних значень показників залежить від реалізації вимог, викладених нижче, із застосуванням відповідних методів математичної статистики.

Процес визначення ймовірнісних показників виконання задачі P полягає в обчисленні відношення числа сприятливих подій n до загальної кількості спостережень N :

$$P = n/N, \quad (1)$$

в яких:

$$t_i \leq T_0, \quad r_i \leq R_0, \quad L_i \geq L_0. \quad (2)$$

При оцінці діяльності можливі два типи помилок:

– помилкове завищення оцінки діяльності (помилка першого роду – α);

– помилкове заниження оцінки діяльності (помилка другого роду – β).

Достовірність контролю оцінюють ймовірністю появи помилок α і β . Через різну значущість помилок першого і другого роду практично завжди при контролі діяльності авіаційного диспетчера необхідно дотримуватися умови $\alpha \leq \beta$.

Для отримання повної інтегральної оцінки враховуються всі показники якості діяльності диспетчерів. В роботі оцінюються прямі показники діяльності: час реакції, адекватність і загальний час виконання задачі.

Розглянуті показники якості діяльності диспетчерів можуть дати одну або кілька розрізнених оцінок кожного авіаційного диспетчера. Іноді цього недостатньо. Необхідно дати інтегральну оцінку якості діяльності авіаційних диспетчерів як сукупність всіх показників якості роботи і підготовки в ході роботи з управління повітряним рухом. Така сукупність може бути визначена як ефективність діяльності авіаційного диспетчера. При її визначенні необхідно враховувати наступне.

При визначенні важливості кожного часткового показника, тобто «ваги» кожного показника в загальній оцінці, необхідно розрізнити види роботи, які характеризуються своїми частковими особливостями. Так діяльність авіаційного диспетчера (керівника польотів), а саме, час реакції, помилки і їх усунення в ході вирішення задач управління повітряним об'єктом (повітряним рухом) є пріоритетними. При визначенні інтегральної оцінки приймаємо, що зазначені вище показники мають однакову «вагу», тому що є однаково визначальними в діяльності авіаційного диспетчера.

Часткові показники вимірюються в різних величинах, що викликає наявність одночасно різномірної інформації:

– точкових вимірів і значень параметрів;

– допустимих інтервалів зміни параметрів, які характеризують оцінку;

– статистичних законів розподілу окремих величин;

– лінгвістичних критеріїв і обмежень, отриманих від фахівців-експертів і т. д.

Отже, вони повинні бути приведені до безрозмірного і нормованого відносно деякого еталона виду.

Можливим шляхом для прийняття рішень щодо оцінки діяльності авіаційного диспетчера в цьому випадку є використання теорії нечітких множин. Вона дозволяє формалізувати процес урахування різних видів невизначеності.

Нечітке лінгвістичне моделювання ґрунтується на наборі лінгвістичних правил і оперує поняттям лінгвістичної змінної. Використання лінгвістичних змінних дозволяє переносити на строгий математичну мову такі поняття як «висока», «низька», ступеня вираженості або прояву параметрів. Значеннями лінгвістичної змінної є слова, а не числа. Наприклад, інтегральна оцінка ефективності діяльності авіаційного диспетчера стане лінгвістичною змінною, якщо значеннями її будуть не числа, а слова – лінгвістичні терми, наприклад, «незадовільна», «задовільна», «добра». Нечітке правило представляється в наступному вигляді: якщо $X \in A$ (нечітка передумова), тоді $Y \in B$ (нечіткий висновок).

У процесі автоматизованого поточного контролю діяльності авіаційного диспетчера (рис. 1), використовуються задачі; їх правила (алгоритми) відпо-

відей (рішення); безпосередньо самі відповіді; в більшості випадків, оцінки за виконання задач; нормативи виконання задач і рекомендації по інтерпретації результатів.

Принципи оцінювання діяльності авіаційного диспетчера в системі контролю:

1. Наявність логічної схеми рішення задач.
2. Єдиний підхід до оцінки діяльності для різних видів задач.
3. Наявність інтегруючих процедур, спрямованих на всебічне врахування діяльності авіаційного диспетчера.

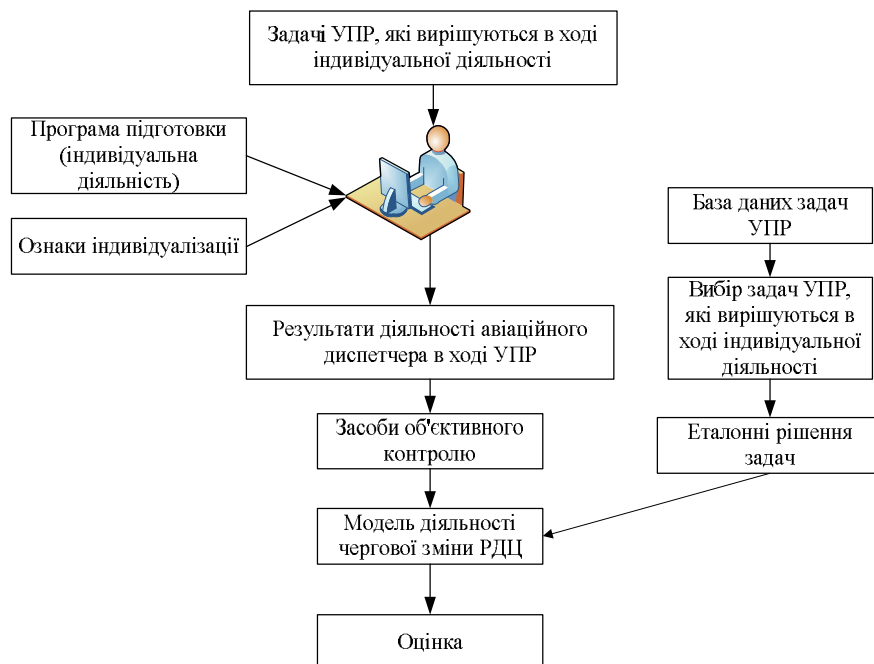


Рис. 1. Загальна структура системи автоматизованого контролю діяльності авіаційного диспетчера при управлінні повітряним рухом

Методика отримання персональних оцінок діяльності. Нормативи діяльності авіаційного диспетчера (чергової зміни) повинні мати:

- чотири градації для точнісних і часових показників якості роботи, які відповідають оцінками діяльності авіаційного диспетчера – «відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно»;
- не менше двох рівнів (градацій) для психофізіологічних показників функціонального стану диспетчерів, які відповідають оцінками «підготовлений» і «не підготовлений»;
- рівні (градацій) діяльності авіаційного диспетчера, відповідні реалізованим рівням ефективності використовуваного зразка КЗА (АСУ повітряним рухом).

При визначенні оптимальної кількості задач, які використовуються під час перевірки, спочатку встановлюють кількість найбільш важливих класифікаційних ознак, що характеризують складність даної диспетчерської діяльності. До числа таких ознак відносять:

- структуру інформаційної моделі;
 - умови сприйняття і переробки вхідної інформації;
 - вид прийнятого рішення;
 - тип виконавчої дії авіаційного диспетчера та ін.
- Далі визначається необхідна кількість градацій кожної ознаки.

Кількість вирішуваних задач (N_p) обчислюється за формулою:

$$N_p = \prod_{j=1}^n C_j, \quad (3)$$

де n – кількість класифікаційних ознак; C_j – число градацій j -ї класифікаційної ознаки.

В цілому, кількість задач повинна бути такою, щоб авіаційні диспетчери, які пройшли комплексну підготовку, не відчували труднощів у виконанні задач управління повітряним рухом.

У загальному випадку, складність задачі може визначатися через складність алгоритму її виконання за формулою:

$$\gamma_j = \gamma_{0j} A_t \cdot (A_L / A_Z), \quad (4)$$

де γ_{0j} – коефіцієнт пропорційності; A_t – показник темпової напруженості діяльності; A_L – показник логічної складності алгоритму завдання (алгоритму діяльності); A_Z – показник стереотипності алгоритму завдання (алгоритму діяльності).

Кількісно міру збігу елементарних операцій в задачах, що характеризує стандартність ситуації, можна обчислити за допомогою показника K_j однотипності j -ої задачі за формулою:

$$K_j = \sum_{m=1}^q Z_{mj} S_{mj} / \left(\sum_{m=1}^q Z_{ij} S_{ij} + \sum_{m=1}^q Z_{mj} S_{mj} \right), \quad (5)$$

де $q(n)$ – число співпадаючих (неспівпадаючих) елементарних операцій діяльності в базовій і відпрацьовується завдання; $m(i)$ – номер співпадаючих (неспівпадаючих) операцій в j -й задачі; $S_{mj}(S_{ij})$ – коефіцієнт ваги співпадаючої (неспівпадаючої) операції; $Z_{mj}(Z_{ij})$ – коефіцієнт збігу (розбіжності) операції.

Коефіцієнт ваги співпадаючої (неспівпадаючої) операції (S_{ij}) визначають методом експертних оцінок. Коефіцієнт збігу (розбіжності) операції визначають таким чином: $Z_{mj} = 1$, $Z_{ij} = 0$, якщо операції співпадають повністю; $Z_{mj} = Z_{ij} = 0,5$, якщо операції співпадають частково; $Z_{mj} = 0$, $Z_{ij} = 1$, якщо операції не співпадають.

Для визначення послідовності відпрацювання задач з урахуванням їх однотипності (перенесення навичок) слід розрахувати коефіцієнт K_j для кожної з однотипних задач і розташувати їх за спаданням значень. Складений таким чином ряд відповідає шуканій послідовності.

Для використання отриманої оцінки збігу елементарних операцій в загальній оцінці діяльності авіаційного диспетчера необхідно провести фазифікації отриманої оцінки. Правило виводу (конкретизація значення) оцінки алгоритмічного збігу Γ_j формалізовано методом нечіткої логіки. Базову термножину Γ_j складають терми: Незадовільно, Задовільно, Добре. Область міркувань $X = [0; 100]$ [%]. Функції приналежності $\mu(x)$ для кожного терма задані у вигляді трапеції [3]:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (6)$$

Час індивідуального і колективного відпрацювання задачі по управлінню повітряним рухом залежить від специфічних особливостей діяльності диспетчерів (чергової зміни) при вирішенні конкретної задачі. Даний час може бути розподілений наступним чином.

Попередньо обчислюють час, необхідний для відпрацювання кожної операції конкретної задачі (t_{omp}), за формулою:

$$t_{ompi} = \left(S_i / \sum_{i=1}^{N_{on}} S_i \right) \cdot t_{nj}, \quad (7)$$

де S_i – коефіцієнт, що враховує вагу i -ої операції; N_{on} – число операцій, що відпрацьовуються в задачі; t_{nj} – час, необхідний для відпрацювання j -ої

задачі, який визначається за допомогою моделі діяльності. Коефіцієнт, що враховує вагу i -ої операції, розраховують за формулою:

$$S_i = m_i \alpha_i \frac{t_i}{t_{np}}, \quad (8)$$

де m_i – коефіцієнт, що враховує число логічних умов в i -ій операції; α_i – коефіцієнт, що враховує тип зв'язку між логічними умовами в i -ій операції; t_i – час виконання i -ої операції; t_{np} – час виконання операції, що вимагає найменших витрат часу.

Час, відведений на індивідуальну (колективну) роботу диспетчера (чергової зміни), обчислюють як

$$t_{n(k)} = \sum_{j=1}^{N_y} \sum_{i=1}^{M(P)} t_{ompij}, \quad (9)$$

де N_y – число задач, що відпрацьовуються; $M(P)$ – кількість операцій, які відпрацьовуються при індивідуальній (колективній) діяльності по кожній задачі відповідно; t_{ompij} – час відпрацювання i -ї операції в j -й задачі, г; $t_{ompij} = (30 \div 50) t_{ij}$; t_{ij} – час, необхідний для одноразового виконання i -ої операції в j -й задачі, г. Тоді інтегральний бал за задачу розраховується за такими виразами:

$$p = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{m-x_0}^{m+x_0} e^{-(x-m)^2/2\sigma^2} dx \right) / 0,9973, \quad (10)$$

якщо $p \in (-3\sigma, 3\sigma)$ і $p = 0$ в іншому випадку.

Для асиметричного розподілу $p = p_1/p_2$ при $x_0 \in (m - 3\sigma_1, m)$ отримуємо:

$$p_1 = \int_{x_0}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad p_2 = \int_{m-3\sigma}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad (11)$$

якщо $x_0 \in (m, m + 3\sigma_2)$, то отримаємо:

$$p_1 = \int_m^{x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad p_2 = \int_m^{m+3\sigma} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad (12)$$

для $x_0 \in (m - 3\sigma_1, m)$:

$$p_1 = \int_{x_0}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad p_2 = \int_{m-3\sigma}^m e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_1^2}} dx, \quad (13)$$

для $x_0 \in (m, m + 3\sigma_2)$:

$$p_1 = \int_m^{x_0} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad p_2 = \int_m^{m+3\sigma_2} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma_2^2}} dx, \quad (14)$$

і $p = 0$ в інших випадках. При визначенні міри правильності рішень скористаємося правилом 3σ .

Розглянемо наступний різновид рішень – у вигляді інтервалів. Якщо авіаційний диспетчер представляє рішення у вигляді інтервалу (α, β) , а еталонне рішення (a, b) , то бал за рішення визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} p &= 0, \text{ якщо } (\beta \leq a) \vee (\alpha \geq b); \\ p &= 0, \text{ якщо } (\beta \leq a) \vee (\alpha \geq b); \\ p &= 1, \text{ якщо } (\alpha \leq a) \wedge (\beta \leq b); \\ p &= \frac{b-\alpha}{b-a}, \text{ якщо } (a < \alpha) \wedge (\beta > b); \\ p &= \frac{\beta-a}{b-a}, \text{ якщо } \alpha < a < \beta < b. \end{aligned} \quad (15)$$

Найбільш складним щодо оцінювання є рішення у вигляді нечіткого інтервалу [13]. Нехай оцінюваний вказує на інтервал $(\underline{m}, \overline{m}, \alpha, \beta, h)$ як вірний, а еталонним є інтервал $(\underline{M}, \overline{M}, A, B, H)$. Уявімо, що $h = H = 1$, яке свідчитиме про те, що диспетчер повністю впевнений у своєму рішенні. Тоді будемо вважати, що оцінка $p = 0$, якщо:

$$(\overline{m} + \beta < \underline{M} - A) \vee (\overline{M} + B < \underline{m} + \alpha); \quad (16)$$

$$p = p_1 + p_2,$$

$$p_1 = \frac{\text{len}([\underline{m}, \overline{m}] I [\underline{M}, \overline{M}])}{\text{len}([\underline{M}, \overline{M}])}; \quad (17)$$

$$\begin{aligned} p_2 &= \frac{k_1 \text{len}(np([\underline{m} - \alpha, \underline{m}] I [\underline{M} - A, \overline{M} + B]))}{\text{len}([\underline{M} - A, \underline{M}] Y [\overline{M}, \overline{M} + B])} + \\ &+ \frac{k_2 \text{len}(np([\overline{m}, \overline{m} + \beta] I [\underline{M} - A, \overline{M} + B]))}{\text{len}([\underline{M} - A, \underline{M}] Y [\overline{M}, \overline{M} + B])}, \end{aligned} \quad (18)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти, які відображають міру перетину і скошеності графіків функцій приналежності; $\text{len}(\ast)$ – функція довжини.

Одним з найбільш важливих є оцінювання часу виконання операцій. Позначимо цей показник – «часом квітування» Q_t .

Задані: вид функцій приналежності (ФП) термів, поріг приналежності (П) значень ФП для прийняття рішення про значення лінгвістичної змінної (ЛЗ), область значень ЛЗ (аргументів ФП).

1. Формується таблиця відповідності між значенням оцінюваного параметра і його лінгвістичним термом (табл. 1). Пороги задаються методом експертних оцінок або з використанням даних отриманих на контрольних групах:

Таблиця 1 – Співвідношення значень параметрів і лінгвістичних термів

Терм	Незад.	Задов.	Добре
Межі t_k , сек	$t_k > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < t_k \leq \Gamma_2$	$t_k < \Gamma_1$

$$\Gamma_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} E_{ij} / \sum_{i=1}^n \alpha_{ij}, \quad (19)$$

де $i \in [1, m]$; $j = 1, 2$; m – кількість експертів; E_{ij} – значення j -го порога, яке задається i -м експертом; α_{ij} – ваговий коефіцієнт, що відображає ступінь довіри до i -го експерта.

2. Визначається відсоток квітування, відповідних кожному терму (табл. 2).

Таблиця 2 – Приклад розподілу квітування по термам

Оцінка	Незадовільно	Задовільно	Добре
% квітування	5	6	89

3. Отримання значень функцій приналежності.

Правило виводу (конкретизація значення) ЛЗ O_t формалізовано методом нечіткої логіки. Базову терм-множину O_t складають терми: Незадовільно, Задовільно, Добре. Область міркувань $X = [0; 100]$ [%]. Функції приналежності $\mu(x)$ для кожного терма задані у вигляді трапеції:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (20)$$

Ухвалення рішення демонструє наступний приклад. Для $x = 85\%$: $\mu_1(x) = 0$ – ступінь приналежності терму «Незадовільно», $\mu_2(x) = 0,25$ – ступінь приналежності терму «Задовільно», $\mu_3(x) = 0,75$ – ступінь приналежності терму «Добре». Рішення: $X(0,75)$, $Y(0,25)$, $H(0)$.

4. Визначення значення O_t за сукупністю правил.

Правило 1. Визначається терм, ступінь приналежності до якого максимальна $\mu_i(x) = \max(i)$. У нашому випадку – це терм «Добре».

Правило 2. Задається умова: якщо для деякого i та x $\mu_i(x) < K$, де K – заданий поріг ступеня приналежності, то ЛЗ O_t дорівнює терму, ступінь приналежності якого максимальний з двох, які лишилися $O_t \leftarrow \max(j \neq i) \mu_j(x)$. Інакше O_t дорівнює терму, ступінь приналежності якого $\mu_j(x) \geq K$ та максимальний. Показник – «Час реалізації дій диспетчером, спрямованих на усунення наслідків помилкових дій (T) (O_T)».

Задані вид функцій приналежності термів, поріг Π значень ФП для прийняття рішення про значення ЛЗ, область значень ЛЗ (аргументів ФП).

1. Формується таблиця відповідності між значенням оцінюваного параметра і його лінгвістичним термом для кожної помилкової дії (табл. 3).

Таблиця 3 – Відповідності між значенням оцінюваного параметра і його лінгвістичним термом

Терм	Незад.	Зад.	Добре.
Помилкова дія 1			
Межі T , сек	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$
Помилкова дія 2			
Межі T , сек	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$
...			
Помилкова дія n			
Межі T , сек	$T > \Gamma_2$	$\Gamma_1 < T < \Gamma_2$	$T \leq \Gamma_1$

2. Визначається відсоток помилкових дій, при усуненні яких диспетчер вклався в часові інтервали, що відповідають кожному терму (табл. 4):

Таблиця 4 – Приклад розподілу T по термах

Оцінка	Незад.	Задов.	Добре.
% помилкових дій	5	6	89

3. Отримання значень функцій приналежності.

Правило виводу (конкретизація значення) ЛЗ O_T формалізовано методом нечіткої логіки. Базова терм-множина (область значень) O_T складають терми: Незадовільно, Задовільно, Добре. Область міркувань $X = [0; 100] [\%]$.

Функції приналежності $\mu(x)$ для кожного терма задані трапецеїдально:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ 1 - \frac{x-c}{d-c}, & c \leq x \leq d, \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (21)$$

4. Визначення значення O_T за сукупністю правил, аналогічних O_t . Показник – «адекватність» (O_A). Задані: вид функцій приналежності термів, поріг Π значень ФП для прийняття рішення про значення ЛЗ, область значень ЛЗ (аргументів ФП).

Визначається відсоток помилок при ліквідації, яких авіаційний диспетчер діяв адекватно, відповідно до кожного терму (табл. 5).

Таблиця 5 – Співвідношення значень параметра і лінгвістичних термів

Оцінка	Незад.	Зад.	Добре.
% помилкових дій	$A < \Gamma_2$	$\Gamma_2 < A < \Gamma_1$	$A > \Gamma_1$

Сумарний бал підраховуємо з використанням відомих адитивних або мультиплікативних процедур, оскільки оцінки є приведеними до шкали $[0, 1]$.

Будь-яка автоматизована система контролю діяльності є ефективною лише тоді, коли вона здатна адаптивно реагувати на зміну умов діяльності оцінюваного авіаційного диспетчера. Така адаптація повинна передбачати самоорганізацію, як структури логічної схеми задач, так і наповнення інформаційної бази. Запропонований метод дозволяє отримувати інтегральну оцінку ефективності діяльності диспетчерів на основі не тільки отримання її від експертів, але і вилучення її з наявної кількісної інформації, отриманої шляхом обробки даних об'єктивного контролю. Інтегральна оцінка ефективності діяльності авіаційного диспетчера може бути представлена у вигляді лінгвістичної змінної. Її значеннями є не числа, а лінгвістичні терми: Незадовільна (Незад.), Задовільна (Зад.), Добра (Добре.). Загальна (інтегральна) оцінка є функцією оцінок окремих показників:

$$M_{ad} = F(O_t, O_A, O_T, \Gamma_j). \quad (22)$$

Формування інтегральної оцінки взаємодії авіаційного диспетчера з керівником польотів РДЦ. В результаті перевірки діяльності кожного авіаційного диспетчера по кожному показнику отримана оцінка у вигляді одного терма H , Y або X . При рівній значимості показників діяльності та рівній значимості діяльності диспетчерів побудована алгебра лінгвістичних величин – задається операція додавання за допомогою даних представлених в табл. 6.

Таблиця 6 – Правила складання в алгебрі лінгвістичних термів

Доданки	Незад.	Зад.	Добре.
Незад.	Незад.	Незад.	Незад.
Зад.	Незад.	Зад.	Зад.
Добре.	Незад.	Зад.	Добре.

В цьому випадку

$$\text{Незад.} + \text{Зад.} + \text{Добре.} = \text{Незад.},$$

$$\text{Добре.} + \text{Добре.} + \text{Зад.} = \text{Зад.} \text{ и т.д.}$$

Ця оцінка може бути отримана як за певний інтервал часу, так і за час ліквідації наслідків помилкових дій. На рис. 2 представлена структура порядку формування узагальненої оцінки діяльності авіаційного диспетчера РДЦ.

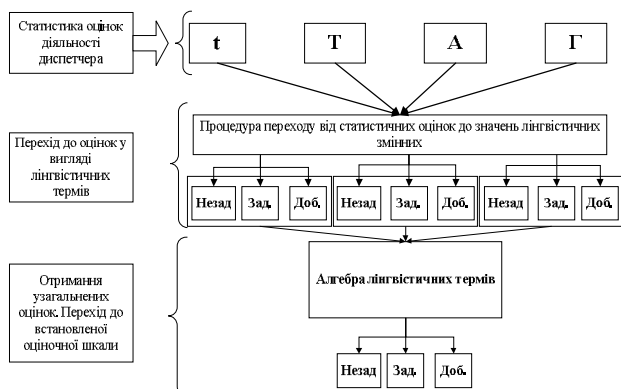


Рис. 2. Отримання узагальненої оцінки діяльності авіаційного диспетчера з використанням нечітких термів

При оцінюванні діяльності чергової зміни РДЦ в цілому необхідно враховувати, що найбільш важливим і значним фактором у цьому оцінюванні є організація взаємодії між керівником польотів і авіаційним диспетчером. Виходячи з цього, для оцінювання діяльності чергової зміни пропонується оцінити діяльність саме цієї пари.

Так, незадовільна оцінка диспетчера свідчить про недостатню організації діяльності з боку керівника польотів і неправильному взаємодії в парі «авіаційний диспетчер – керівник польотів» з урахуванням вимог синхронності роботи. Тому для оцінювання керівника польотів пропонується до переліку оцінок діяльності пропонується ввести такі оцінки:

- узагальнена оцінка діяльності авіаційного диспетчера (M_{ad});
- оцінка організації взаємодії з авіаційним диспетчером (O_V).

Тоді, враховуючи (22) інтегральна оцінка діяльності керівника польотів буде функцією від наступних змінних:

$$M_{pn} = F(O_t, O_A, O_T, M_{ad}, O_V, \Gamma_j). \quad (23)$$

Виходячи з цього, формування узагальненої оцінки діяльності керівника польотів представлено на рис. 3.

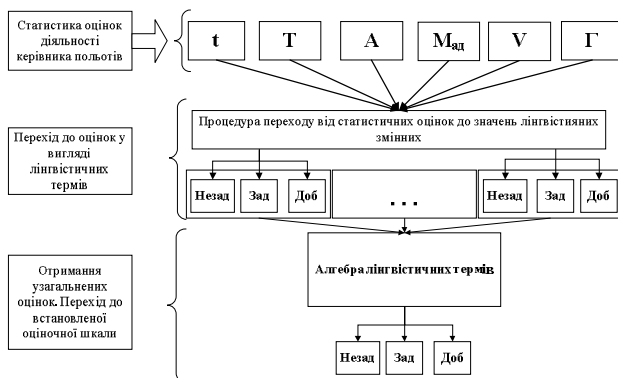


Рис. 3. Формування узагальненої оцінки діяльності керівника польотів з використанням нечітких термів

Тоді узагальнена структура методу оцінки діяльності керівника польотів матиме вигляд, представлений на рис. 4.

Висновки

На основі аналізу елементів інформаційного забезпечення процесів роботи з управління повітряним рухом виділені наступні аспекти застосування моделей діяльності чергової зміни РДЦ:

- оперативне інформування диспетчерів про алгоритми діяльності, які рекомендуються в даних ситуаціях;
- навчання авіаційних диспетчерів по зразкам (еталонам) фрагментів роботи в системі обслуговування повітряного руху;
- контроль досягнутого рівня підготовки авіаційних диспетчерів;



Рис. 4. Структура методу оцінки діяльності чергової зміни РДЦ

- визначення показників відомих алгоритмів діяльності;
- побудова нових алгоритмів діяльності і визначення їх показників.

Розроблено апарат формалізації правил отримання оцінок індивідуальної та групової діяльності авіаційних диспетчерів. В основу розробленого апарату формалізації покладена теорія нечітких множин. Даний підхід дозволив привести оцінки різної природи до єдиної формальної системи і врахувати їх, використовуючи єдині формальні правила.

Розроблено методику інтегральної оцінки діяльності авіаційного диспетчера та керівника польотів. Об'єктивність отриманої оцінки досягається за рахунок використання статистичних даних, що відображають роботу диспетчера (керівника польотів) в різних умовах під час своєї діяльності. Розроблена методика дозволяє отримати інтегральну якісну оцінку, а також оцінку по кожному окремому показнику за будь-який період часу.

Отримав подальший розвиток метод оцінки діяльності керівника польотів, який відрізняється від відомих використанням теорії нечітких множин для отримання якісних інтегральних оцінок діяльності операторів, а також урахуванням організації взаємо-

дій в парі «авіаційний диспетчер – керівник польотів». Отримані інтегральні оцінки дозволяють підвищити об'єктивність оцінки діяльності чергової зміни РДЦ та обґрунтувати вироблені рекомендації щодо її подальшого вдосконалення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Grishmanov D., Pukhalska H., Yarokhovych O., Pysarchuk O. Application of the structural-algorithmic analysis method for modeling work duty shift area control centers. *Advanced Information Systems*. 2018. Vol. 2, No. 1. P. 5-10.
2. Про затвердження Правил польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України. Наказ Мінтрансу України від 16.04.2003 р., № 293.
3. Бердник П. Г., Кучук Г. А., Кучук Н. Г., Обидин Д. Н., Павленко М. А., Петров А. В., Руденко В. Н., Тимочко А. И. Математические основы эргономических исследований. Кропивницький : КЛА НАУ, 2016. 248 с.
4. Павленко М. А., Петров О. В., Хмелевський С. І. Основи теорії систем та системного аналізу. Харків : ХНУПС, 2018. 215 с.
5. Дем'янчук В. С. Безпека польотів та організація повітряного руху Київ : ДП ОПР України, 2009. 424 с.
6. Чинченко Ю. В. Автоматизация управления уровнем готовности авиадиспетчеров к действиям в кризисных ситуациях. Тез. док. МНПК «Современные информационные технологии в управлении и профессиональной подготовке операторов сложных систем». Кировоград: ГЛАУ, 2003. С. 67-68.

REFERENCE

1. Grishmanov, D., Pukhalska, H., Yarokhovych, O. and Pysarchuk O. (2018), "Application of the structural-algorithmic analysis method for modeling work duty shift area control centers", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 5-10.
2. On approval of the Rules of Aircraft Flight and Air Traffic Services in the classified district of Ukraine. Order of the Ministry of Transport of Ukraine dated April 16, 2003, No. 293.
3. Berdnik, P.G., Kuchuk, G.A., Kuchuk, N.G., Obidin, D.N., Pavlenko, M.A., Petrov, A.V., Rudenko, V.N. and Timochko, A.I. (2016), *Mathematical foundations of ergonomic research*, KLAU NAU, Kropyvnytskyi, 248 p.
4. Pavlenko, M.A., Petrov, O.V. and Khmelevsky S.I. (2018), *Fundamentals of systems and systems analysis*, KhNUPS, Kharkiv, 215 p.
5. Demyanchuk V.S. Flight Safety and Air Traffic Management Kyiv: DP ATS Ukraine, 2009. 424 p.
6. Chinchenko, Yu.V. (2003), Automation of the management of the readiness of air traffic controllers to act in crisis situations, Abstracts. MNPk "Modern information technologists in the management and training of operators of complex systems", GLAU, Kirovograd, p. 67-68.

Received (Надійшла) 14.06.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 15.08.2018

Метод оценки деятельности дежурной смены районного диспетчерского центра

Д. Е. Гришманов, Ю. В. Данюк, А. Ю. Несмиян, М. А. Павленко

Предметом изучения в статье являются процессы деятельности авиационных диспетчеров дежурной смены районного диспетчерского центра (РДЦ) системы обслуживания воздушного движения. **Целью** является разработка метода оценки деятельности дежурной смены РДЦ при обслуживании воздушного движения. **Задачи:** обосновать возможность применения системы автоматизированного контроля деятельности авиационного диспетчера при управлении воздушным движением. Применяемыми **методами** являются: методы нечеткой логики, методы математической статистики, методы экспертных оценок. Получены следующие **результаты**. Предложена методика получения персональных оценок лицами дежурной смены РДЦ. Разработан метод оценки деятельности дежурной смены РДЦ, учитывающий организацию взаимодействия между авиационными диспетчерами и руководителем полетов при обслуживании воздушного движения. **Выводы.** Для автоматизированного контроля деятельности дежурной смены РДЦ и наработки рекомендаций по повышению качества обслуживания воздушного движения было предложено применять метод оценки деятельности дежурной смены РДЦ, основанный на применении моделей деятельности авиационного диспетчера.

Ключевые слова: авиационный диспетчер; районный диспетчерский центр; моделирование деятельности авиационного диспетчера; метод оценки деятельности дежурной смены РДЦ.

Method of estimation of activity of the duty change of the area control center

D. Grishmanov, Yu. Danyuk, O. Nesmiian, M. Pavlenko

The **subject matter** of the article is the processes of the activity of air controllers on duty shift of the area control center (ACC) of the air traffic services system. The **goal** is the development of a method for assessing the activity of the ACC shift on air traffic services. The **tasks** to substantiate the possibility of using the automated control system of the air traffic controller in the air traffic control. The **methods** used are: methods of fuzzy logic, methods of mathematical statistics, methods of expert evaluations. The following **results** were obtained: A methodology for obtaining personal ratings by persons on duty shifts with ACCs is suggested. A method for assessing the activity of the on-duty shift of ACCs is developed, taking into account the organization of interaction between air traffic controllers and the head of flights for air traffic services. **Conclusions.** For automated control over the activity of the duty shift of the ACC and the development of recommendations for improving the quality of air traffic services, it was suggested to apply the method of assessing the activity of the duty shift of the ACC, based on the application of the models of the air traffic controller.

Keywords: aviation dispatcher; area control center; modeling of the air controller activities; method of assessing the activity of the duty shift of the ACC.

В. Ю. Дубницкий¹, А. М. Кобылин¹, О. А. Кобылин²

¹ Харьковский учебно-научный институт ГВУЗ Университета банковского дела, Харьков, Украина

² Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, Украина

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВАЛЮТНЫХ ОПЕРАЦИЙ, ПРЕДНАЗНАЧЕННАЯ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Приведены основные сведения о программной системе, разработанной для мобильных устройств под операционную систему Android, предназначенной оперативно оценивать эффективность валютных операций в условиях стохастически неопределенной внешней экономической среды. При возможности обмена средств в национальной валюте (НВ) на СКВ (свободно конвертируемая валюта) и наоборот, целесообразно сравнивать результаты от непосредственного размещения имеющихся средств в депозиты, или опосредствованно, через другую валюту. Программная система позволяет оценивать эффективность депозита для следующих схем: размещение депозита в иностранной валюте с двойной конвертацией, размещение депозита в национальной валюте без конвертации; размещение депозита в национальной валюте с двойной конвертацией. Для выполнения расчетов использована интервальная и евклидова арифметика. Система реализует выполнение вычислений на основе классической системы аксиом интервальной арифметики и нестандартной системы аксиом. При выборе структуры предложенных формул выбраны те, которые обеспечивают наименьшую ширину интервала неопределенности. Разработанное приложение "Банковские конверсионные операции" ориентировано на студентов экономических специальностей, банковских работников и доступно всем лицам, желающим оценивать эффективность совмещения операции конверсии (обмена) валюты и наращение простых процентов. В условиях высокой волатильности валютных курсов, наблюдаемых в настоящее время всем мире, успех хозяйствующих субъектов зависит от правильно принятых решений на валютном рынке и таким образом повышает уровень экономических знаний субъекта экономической деятельности, необходимый для принятия правильных и обоснованных решений на валютном рынке. Разработанное приложение помогает оценить эффективность операций двойной конверсии и принимать рациональные решения.

Ключевые слова: конверсия валют; валютные операции; интервальные вычисления; системы аксиом классической интервальной математики; системы аксиом нестандартной интервальной математики.

Введение

В условиях высокой волатильности, а часто и стохастической неопределенности внешней экономической среды, замедления темпов экономического роста, исключения капиталов из инвестиционного рынка, ряда банкротств предприятий банковской сферы, особенное значение приобретает деятельность банков на фондовом рынке и связанных с этим валютных операций. Принятие решений относительно инвестирования банковского капитала в ценные бумаги характеризуется неполнотой и нечеткостью исходной информации, обусловленных большой размерностью задачи и влиянием многих внешних факторов. В условиях нестохастически заданной неопределенности наиболее эффективным является применение интервальных вычислений. Именно для этого создана программная система для вычисления эффективности валютных операций с ценными бумагами с использованием интервальных арифметических операций, которая предназначена для реализации на мобильных устройствах.

Постановка задачи. Разработка программной системы, которая бы обеспечивала выполнение расчетов в двух вариантах. В варианте евклидовой (классической) арифметики, которую необходимо использовать на стадии анализа деятельности банка за прошлый плановый период, и в варианте с использованием интервальных операций, который необходимо использовать на стадии планирования деятельности финансового учреждения в будущем плановом периоде.

Анализ литературы. В работах [1-4] подробно рассмотрены задачи, возникающие при выполнении валютных расчетов, методы их решения и экономический смысл получаемых результатов. Несмотря на использование в исследовательских целях современных методов прогнозирования валютного курса при проведении большинства практических расчетов, используют методику, описанную в работе [5, с. 30-35].

Так как описанная в данном сообщении программная система использует именно эту методику, то рассмотрим её подробно.

Введём следующие аббревиатуры: СКВ – свободно конвертируемая валюта, НВ – национальная валюта.

Будем рассматривать следующие операции:

1. Размещение депозита в иностранной валюте без конверсии: СКВ→СКВ;
2. Размещение депозита в иностранной валюте с двойной конверсией: СКВ→НВ→НВ→СКВ;
3. Размещение депозита в национальной валюте без конверсии: НВ→НВ;
4. Размещение депозита в национальной валюте с двойной конверсией: НВ→СКВ→СКВ→НВ.

В дальнейшем используем следующие условные обозначения: P_v – сумма депозита в СКВ; P_n – сумма депозита в НВ; S_v – наращенная сумма в СКВ; S_n – наращенная сумма в НВ; K_0 – курс обмена в начале операции (курс СКВ по отношению к НВ, выраженный в единицах НВ); K_1 – курс обмена в конце операции, курс СКВ по отношению к НВ,

выраженный в единицах НВ; n – срок депозита (годы); i – годовая ставка наращивания для депозитов в НВ; j – годовая ставка наращивания для депозитов в СКВ; i_{op} – доходность операции.

Результаты исследований

Рассмотрим вариант размещения депозита по схеме: СКВ→НВ→НВ→СКВ.

Конечная сумма валютного депозита в СКВ, с учётом роста вклада по схеме простых процентов, может быть определена используя выражения (1) и (2):

$$S_v = P_v K_0 (1 + ni) / K_i; \quad (1)$$

$$S_v = P_v \cdot (K_0 / K_1) \cdot (1 + ni). \quad (2)$$

Очевидно, что с позиций классической математики эти выражения эквивалентны. В работе [6] отмечено, что в интервальной арифметике величина интервала, содержащего результат вычислений, зависит от вида формулы, по которой эти вычисления выполняют. Обоснование выбора того или иного выражения будут рассмотрены ниже.

Множитель наращивания депозита при его размещении по варианту СКВ→НВ→НВ→СКВ определяют, используя выражения (3) и (4):

$$m = (K_0 / K_1) (1 + ni); \quad (3)$$

$$m = \frac{1 + ni}{K_1 / K_0}. \quad (4)$$

Относительную эффективность рассматриваемой операции, величину i_3 , оценивают по условию (5):

$$i_3 = \frac{S_v - P_v}{P_v n}, \quad (5)$$

для её оценивания используют выражения (6) – (8):

$$i_3 = ((K_0 / K_1) (1 + ni) - 1) / n; \quad (6)$$

$$i_3 = ((1 + ni) / (K_1 / K_0) - 1) / n; \quad (7)$$

$$i_3 = (m - 1) / n. \quad (8)$$

Величину предельных значений абсолютного K_{nv} и относительного k_{nv} курсов обмена в конце операции, оценивающих её эффективность, определяют, используя выражения (9) и (10):

$$K_{nv} = K_0 \frac{1 + ni}{1 + nj}; \quad (9)$$

$$k_{nv} = \frac{1 + ni}{1 + nj}. \quad (10)$$

Правило принятия решения в случае использования величины K_{nv} следующее: если $K_{nv} < K_1$, то выгоден вариант СКВ→НВ→НВ→СКВ; если $K_{nv} \geq K_1$, то выгоден вариант СКВ→СКВ.

Правило принятия решения в случае использования величины k_{nv} следующее: если $k_{nv} < k$, то выгоден вариант СКВ→НВ→НВ→СКВ; если $k_{nv} \geq k$, то выгоден вариант СКВ→СКВ.

В условии (10) принято, что:

$$k_{nv} = K_1 / K_0. \quad (11)$$

Рассмотрим четвёртый вариант размещения депозита по схеме: НВ→СКВ→СКВ→НВ. Нарастенную сумму в национальной валюте, величину S_n , определяют, используя выражения (12) и (13):

$$S_n = \frac{P_n}{K_0} (1 + nj) K_1. \quad (12)$$

$$S_n = P_n (1 + nj) \cdot (K_1 / K_0). \quad (13)$$

Эффективность рассматриваемой операции определяют по условиям (14) и (15):

$$i_3 = \frac{(K_1 / K_0) (1 + nj) - 1}{n}. \quad (14)$$

$$i_3 = \frac{k (1 + nj) - 1}{n}. \quad (15)$$

Правила принятия решения о выборе одного из двух вариантов (варианта 3 или варианта 4), то есть размещение депозита в национальной валюте без конверсии (НВ→НВ), или размещение депозита в национальной валюте с двойной конверсией (НВ→СКВ→СКВ→НВ) следующие.

При использовании величины K_{nv} принимаем следующее: если $K_{nv} > K_1$, то выгоден вариант СКВ→НВ→НВ→СКВ; если $K_{nv} < K_1$, то выгоден вариант НВ→НВ.

При использовании величины k_{nv} принимаем следующее: если $k_{nv} > k$, то выгоден вариант СКВ→НВ→НВ→СКВ, если $k_{nv} \leq k$, то выгоден вариант НВ→НВ.

Арифметические операции с интервальными числами выполняют согласно правил классической интервальной арифметики [5, 6]:

Современные методы интервального анализа, кроме интервальных арифметических операций, имеют достаточно развитые способы для решения многих задач, но для сложных систем применение интервального анализа дает неудовлетворительные результаты из-за чрезмерной ширины вычисленных интервалов. Чаще всего это происходит от того, что пессимистические оценки точности оказываются на порядок хуже, чем реально достижимая точность результата. Кроме того, возникает природное противоречие между относительно большим диапазоном интервальных значений, которые отражают низкую точность соответствующих значений, и предельно точным заданием границ интервалов. Таким образом, общий недостаток этих методов – широкие интервальные оценки результата, что неприменимо не только для проведения практических расчетов, но и для дальнейшего анализа данной модели.

В данной программной системе, выполненной в виде приложения под операционную систему Android для мобильных устройств, включающую специализированный интервальный калькулятор и встроенные функции для выполнения банковских операций при конверсии валютных операций, ис-

пользуются нестандартные интервально-арифметические операции, что позволило упростить их применение при практических расчетах. [5]

Исследования, выполненные авторами в последние годы, показали, что наиболее удобной для реализации в мобильных устройствах может быть интервальная арифметика в системе «Центр - радиус». Её теоретические основы изложены в работе [7], программная реализация описана в работе [8].

Для решения поставленных задач разработана программная система, которая реализована на языке Java и дает возможность выполнить расчеты, используя рассмотренные в данной работе виды интервальной математики. Вид окна основной активности приведен на рис. 1, а. Здесь перечислены все категории работ, которые может выполнять приложение. На рис. 1, б показано окно активности «Назначение приложения Банковские конверсионные операции».

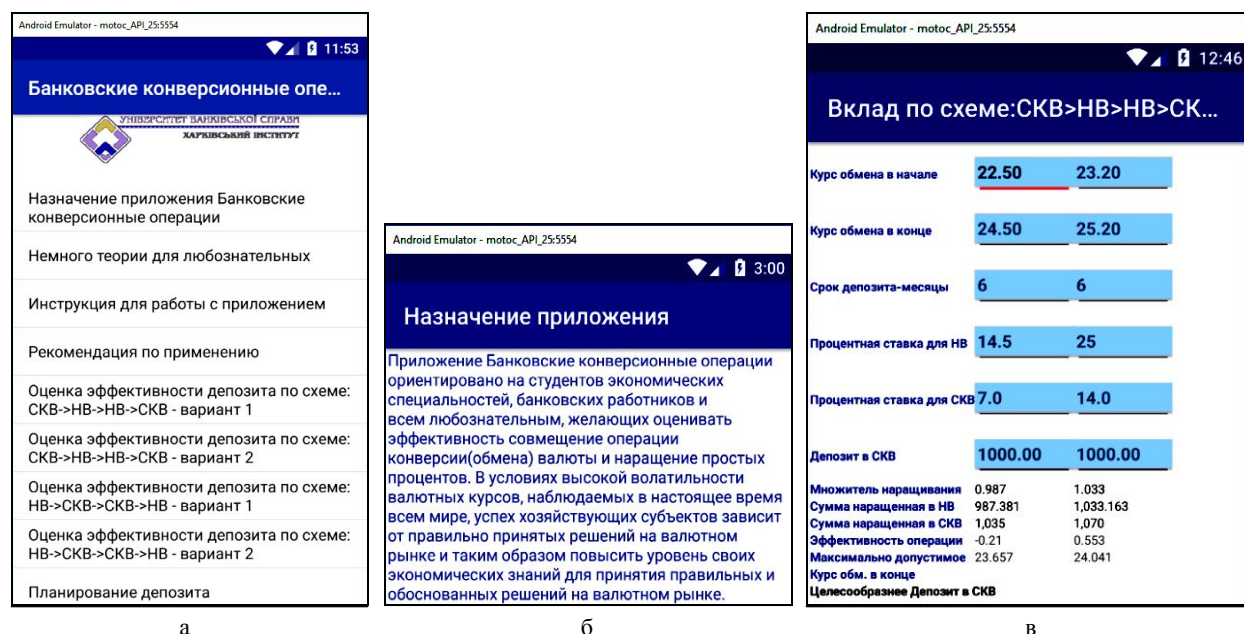


Рис. 1. Окна активности приложения «Банковские конверсионные операции»

Приложение позволяет оценить эффективность депозита по различным схемам:

1. Оценка эффективности депозита по схеме $СКВ \rightarrow NB \rightarrow NB \rightarrow СКВ$ (вариант 1). Выполняет интервальные вычисления с использованием аксиом классической интервальной математики. Данная схема предполагает, что за СКВ покупается NB, в NB открывается депозит, по окончании срока депозита за наращенную сумму в NB покупается СКВ. Вид окна активности для этого варианта приведен на рис 1, в.

2. Оценка эффективности депозита по схеме $СКВ \rightarrow NB \rightarrow NB \rightarrow СКВ$ (вариант 2). Выполняются интервальные вычисления со средними значениями параметров и значениями интервалов задаются как процент отклонения от среднего значения. Процент отклонения задаётся с помощью перемещения ползунка. Если пользователь установил ползунок на 0%, вычисления производятся в обычной (евклидовой) математике. Если пользователь установил ползунок в значение от 1 до 30%, вычисления выполняются в интервальной математике в системе «Центр-радиус». В этом случае в качестве центра принимается среднее значение, например, среднее между курсом покупки и продажи валюты. Радиус определяется автоматически от введенного среднего и установленного пользователем процентного отклонения. Вид окна активности для этого варианта приведен на рис 2, а.

3. Оценка эффективности депозита по схеме $NB \rightarrow СКВ \rightarrow СКВ \rightarrow NB$ (вариант 1), выполняет интервальные вычисления с использованием аксиом классической интервальной математики. Данная схема предполагает, что за NB покупается СКВ, в СКВ открывается депозит, по окончании срока депозита за наращенную сумму в СКВ покупается NB. На рис. 2, б приведены результаты по оценке эффективности депозита по схеме $NB \rightarrow СКВ \rightarrow СКВ \rightarrow NB$.

4. Результаты по оценке эффективности депозита по схеме $NB \rightarrow СКВ \rightarrow СКВ \rightarrow NB$ (вариант 2) приведены на рис. 2, в. Выполняются интервальные вычисления со средними значениями параметров и значения интервалов задаются как процент отклонения от среднего значения. Процент отклонения задаётся с помощью перемещения ползунка. Если пользователь установил ползунок на 0%, вычисления производятся в обычной (евклидовой) математике. Если пользователь установил ползунок в значение от 1 до 30%, вычисления выполняются в интервальной математике в системе «Центр-радиус». В этом случае в качестве центра принимается среднее значение, например, среднее между курсом покупки и продажи валюты. Радиус определяется автоматически от введенного среднего и установленного пользователем процентного отклонения. Данная схема предполагает, что за NB покупается СКВ, в СКВ открывается депозит, по окончании срока депозита за наращенную сумму в СКВ покупается NB.

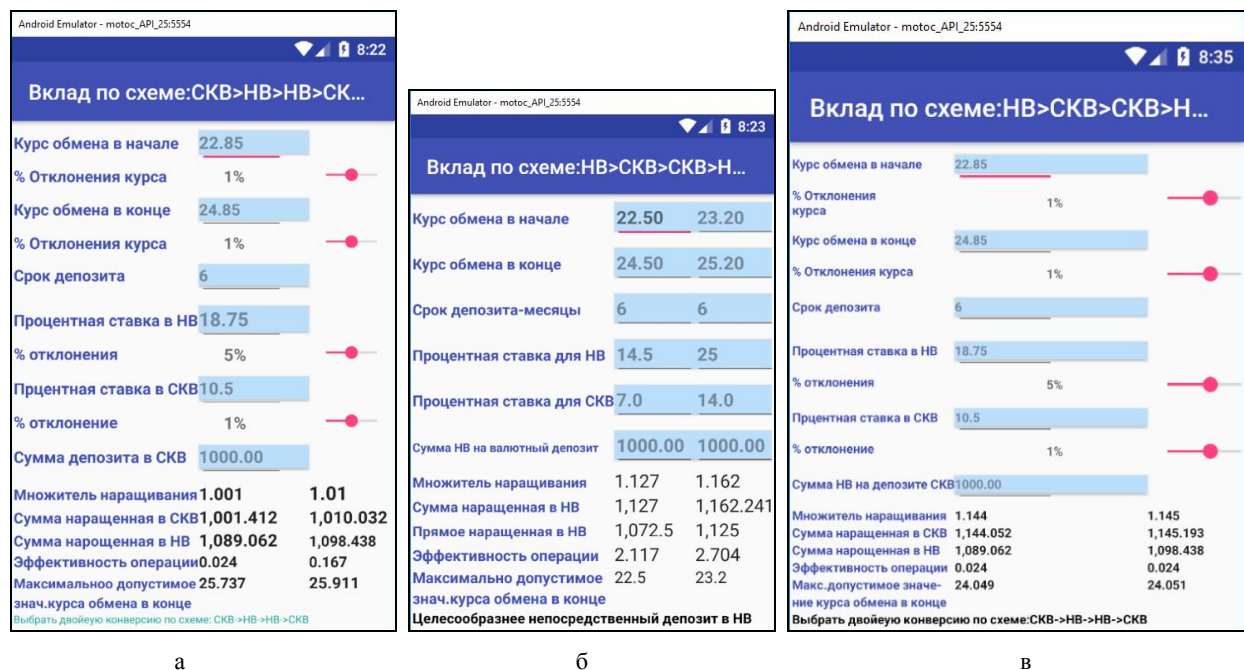


Рис. 2. Окна активности для расчетов по различным схемам

В результате расчета по каждому из пунктов 1- 4 определяется прибыльность конверсионной операции, выполняется анализ и предоставляются рекомендации пользователю о выборе схемы выполнения. Кроме того, при всех упомянутых расчетах производится оценка эффективности операции. Отрицательные значения свидетельствуют об убыточности операции двойного конверсии. В рассмотренных примерах наиболее эффективной оказалась операция вклада по схеме НВ→СКВ→СКВ→НВ при курсе обмена в начале операции равном [22.50; 23.50], курсе обмена в конце операции равном [24.50; 25.20], сроке депозита в месяцах равном [6; 6], процентной ставке для НВ равной [14.5; 25], процентной ставки для СКВ равной [7.0, 14.0], сумме НВ на валютном депозите равной [1000.0; 1000.0]. Эффективность операции для этих данных оказалась равной [2.117; 2.704]. Рекомендуется для выбранных данных выполнить расчет по планированию депозита. Результаты приведены на рис. 3.

Выводы

1. Приведены основные сведения о программной системе, предназначенной для выполнения валютных расчётов в условиях стохастически неопределённой внешней экономической среды.



Рис. 3. Результаты расчета по планированию депозита

2. Приложение оценивает эффективность депозита по следующим схемам: размещение депозита в иностранной валюте без конверсии; размещение депозита в иностранной валюте с двойной конверсией; размещение депозита в национальной валюте без конверсии; размещение депозита в национальной валюте с двойной конверсией.

3. Для выполнения расчетов использована интервальная математика.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дубницький В. Ю. Використання нестандартних інтервальних операцій для зменшення невизначеності у процесі виконання фінансових розрахунків / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобилін // Вісник університету банківської справи Національного банку України. – 2014. – № 1 (19). – С. 255-260.
- Герцкович Д. А. Финансовые рынки: система игры на противофазе / Д. А. Герцкович. – Иркутск : Изд-во Иркутского гос. ун-та, 2012. – 156 с.
- Марина Е.В. Метаматематическое моделирование прогноза валютных курсов / Е. В. Марина // Молодежь XXI века : шаг в будущее. – 2011. – Т. 8. – С. 53-54.
- Четыркин Е. М. Методы финансовых и коммерческих расчётов / Е. М. Четыркин-М.: «Дело Лтд», 1995. – 320 с.
- Алефельд Г. Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987. – 259 с.
- Шарый С. П. Конечномерный интервальный анализ / С. П. Шарый. – Новосибирск : XYZ, 2010. – 601 с.
- Жуковська О. А. Основи інтервального аналізу / О. А. Жуковська. – К.: Освіта України, 2009. – 136 с.

8. Дубницький В. Ю. Вычисление значений элементарных функций с интервально заданным аргументом в системе центр-радиус / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылин, О. А. Кобылин // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 7 (144). – С. 107-112.
9. Дубницький В. Ю. Финансово-аналитический программный калькулятор для выполнения валютных расчетов в условиях стохастически неопределенной внешней экономической среды / В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылин, И. В. Шкодина // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2016. – Вип. 1 (138). – С. 107-112.

REFERENCES

1. Dubnitskiy, V.J. and Kobylin, A.M. (2014), "Use of non-standard interval operations to reduce uncertainty in the process of performing financial calculations", *Bulletin of the University of Banking of the National Bank of Ukraine*, No. 1(19), pp. 255-260.
2. Gercekovich, D.A (2012), *Financial markets: the system of play on the antiphase*, Irkutsk State University, Irkutsk, 156 p.
3. Marina, E.V. (2011), "Metathematic modeling of the forecast of exchange rates", *Youth of the XXI century: a step into the future*, Vol. 8, pp. 53-54.
4. Chetyrkin, E.M. (1995), *Methods of financial and commercial calculations*, Delo Ltd, Moscow, 320 p.
5. Alefeld, G and Herzberger, J. (1983), *Introduction to interval computation*, ACADEMIC PRESS, Paris, 360 p.
6. Sharyj, S.P. (2010), *Finite-dimensional interval analysis*, XYZ, Novosibirsk, 601 p.
7. Zhukovskaja, O.A. (2009), *Bases of interval analysis*, Osvita Ukrainy, Kyiv, 136 p.
8. Dubnitskiy, V.Yu, Kobylin, A.M. and Kobylin, O.A. (2016), "Calculation of elementary function values with interval stated argument determined in center-radius system", *Information Processing Systems*, No. 7 (144), pp. 107-121.
9. Dubnitskiy, V.Yu., Kobylin, A.M. and Shkodina, Y.V. (2016), "Financial analytical calculator for currency calculations under stochastically indeterminate ambient economic environment", *Information Processing Systems*, No. 1(138), pp. 107-112.

Received (Надійшла) 21.05.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.06.2018

Програмна система оперативної оцінки інтервальної ефективності валютних операцій, яка призначена для мобільних пристроїв

В. Ю. Дубницький, А. М. Кобылін, О. А. Кобылін

Наведено основні відомості про програмну систему, розроблену для мобільних пристроїв під операційну систему Android, яка призначена оперативно оцінювати ефективність валютних операцій в умовах стохастично невизначеного зовнішнього економічного середовища. При наявності вибору засобів обміну засобів національної валюти (НВ) на ВКВ (вільно конвертовану валюту) і навпаки, доцільно порівняти результати від безпосереднього розміщення наявних коштів в депозити, або опосередкований, через іншу валюту. Програмна система дозволяє оцінює ефективність депозиту для наступних схем: розміщення депозиту в іноземній валюті з подвійною конвертацією, розміщення депозиту в національній валюті без конвертації; розміщення депозиту в національній валюті з подвійною конвертацією. Для виконання розрахунків використана інтервальна і евклідова арифметика. Система реалізує виконання обчислень на основі класичної системи аксіом інтервальної арифметики і нестандартної системи аксіом. При виборі структури запропонованих формул вибрані ті, які забезпечують найменшу ширину інтервалу невизначеності. Розроблене застосування "Банківські конверсійні операції" орієнтовано на студентів економічних спеціальностей, банківських працівників і доступно всім особам, охочих оцінювати ефективність поєднання операції конверсії(обміну) валюти і нарошування простих відсотків. В умовах високої волатильності валютних курсів, яке має місце у даний час у всьому світі, успіх господарюючих суб'єктів залежить від правильно ухвалених рішень на валютному ринку і таким чином підвищує рівень економічних знань, який необхідно мати суб'єкту господарчої діяльності для прийняття правильних і обґрунтованих рішень щодо операцій на валютному ринку. Розроблене застосування допомагає оцінити ефективність операцій подвійної конверсії і зробити обґрунтований висновок.

Ключові слова: конверсія валют; валютні операції; інтервальні обчислення; системи аксіом класичної інтервальної математики; системи аксіом нестандартної інтервальної математики.

Software system exchange operations immediate estimation for mobile devices running

V. Dubnickij, A. Kobylin, O. Kobylin

Here described the essentials of a problem-solving environment that was developed for mobile devices running under Android operating system, which was destined for exchange operations immediate estimation in the context of stochastically indefinite external economic environment. Given the chance to exchange funds in native currency for freely convertible currency and conversely, it's viable to compare the results of available funds direct distribution to bank deposit or intermediated through another currency. The application system allows evaluating the deposit effectiveness for following schemes: opening deposit in foreign exchange with double conversion, opening deposit in native currency without conversion, opening deposit in native currency with double conversion. Interval analysis and Euclidean arithmetic used to perform accounting. System implements accounting based on interval axiom classical scheme and substandard axiom scheme. When choosing the formula structure used those which provides the least width of interval of uncertainty. Developed "Banking Forex transaction" application oriented toward students of economical specialty, bank official and all people that want to evaluate the efficiency of funds exchange and percentage buildup. In the conditions of high volatility of exchange rates, currently observed all over the world, the success of economic agents depends on correctly taken decisions in the foreign exchange market and thus raises the level of economic knowledge of the process owner, that's required for making correct and an efficient solution on the currency market. Developed application helps to evaluate efficiency of the double conversion and make an efficient solution.

Keywords: currency conversion; currency operations; interval calculations; axiom systems of classical interval mathematics; system of axioms of non-standard interval mathematics.

R. Zhyvotovskiy¹, O. Momit²¹ Central research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine² Military unit A 2393, Odessa, Ukraine

ANALYSIS OF SIGNAL PROCESSING METHODS IN MIMO SYSTEMS

Conflicts of the last decades (the Chechen war (Russian Federation), armed confrontation in the countries of the Middle East and North Africa, anti-terrorist operation in the territory of Donetsk and Lugansk regions (Operation of the United Nations)) go beyond the existing (traditional) forms and methods of warfare, conducted on the background of information and psychological operations and the active using of electronic emitters. Therefore, provision of sustainable communication is one of the priority directions of scientific research. One of the directions of increasing the noise immunity of radio communication devices is using of the multi-antenna radio communication systems. However, they are complex technical systems. There are many approaches to increase the impedance of multi-antenna systems, but the authors of this article limited themselves to considering only the methods of signal processing, namely orthogonal spatial-temporal codes. During the study, the authors used the basic provisions of the theory of communication, the theory of antennas, the theory of noise protection and signal-code structures. In the course of the analysis, the authors found, that the computational complexity of the orthogonal codes used in MIMO systems is directly proportional to the number of transmitting antennas in the system, which leads to a linear increase in the number of computational operations in the processing of signals was using mentioned spatio-temporal codes. However, this type of spatial-temporal codes has high energy efficiency in MIMO systems with a small number of antennas. The authors propose to develop a method of space-time coding of signals in multi-antenna radio systems with high energy and spectral efficiency, when the proposed method had an acceptable computational complexity.

Keywords: signal-interfering environment; information transfer speed; bit error probability; spatial-temporal processing; MIMO system; parallel channels.

Introduction

Conflicts of the last decades (the Chechen war (Russian Federation), armed confrontation in the countries of the Middle East and North Africa, anti-terrorist operation in the territory of Donetsk and Lugansk regions (Operation of the United Nations)) go beyond the existing (traditional) forms and methods of warfare, conducted on the background of information and psychological operations and the active use of electronic emitters. Therefore, provision of sustainable communication is one of the priority directions of scientific research. One of the directions to increase the noise immunity of radio communication devices is using of the multi-antenna radio communication systems.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) technology has been found to be practical in many modern telecommunication systems, in particular wireless LANs of the IEEE 802.11n standard, as well as WIMAX and LTE mobile wireless networks, and others [1-5].

The essence of MIMO technology is similar to the method of spaced reception, when several uncorrelated copies of the signal created on the receiving side due to

the diversity of antennas in space, in polarization, in the distribution of signals at frequency or in time. Spatial multiplexing was implemented in MIMO radio systems: the data stream on the transmission was split into two or more sub-streams, each of which was transmitted and received using various antennas [1-6, 10-12].

The transmission of signals in the MIMO system results in inter-symbol interference (ISI) on the receiving side and may cause errors in the receiver output. In order to compensate for these distortions, channel alignment or evaluation of its impulse response must be performed, which will allow the most faithfully recovered symbols.

The purpose of this article is analysis of signal processing methods in MIMO systems.

Presentation of main material research

Let's formalize the work of the MIMO system. In general, the structure of the MIMO system has in its composition M_t transmitters (transmit antennas) and M_r receivers (receiving antennas) (Fig. 1). Transmitted signals after the influence of the relay fading and white Gaussian noise (WGN) in the radio channel, arrive at the M_r receiving tracks [1-10].

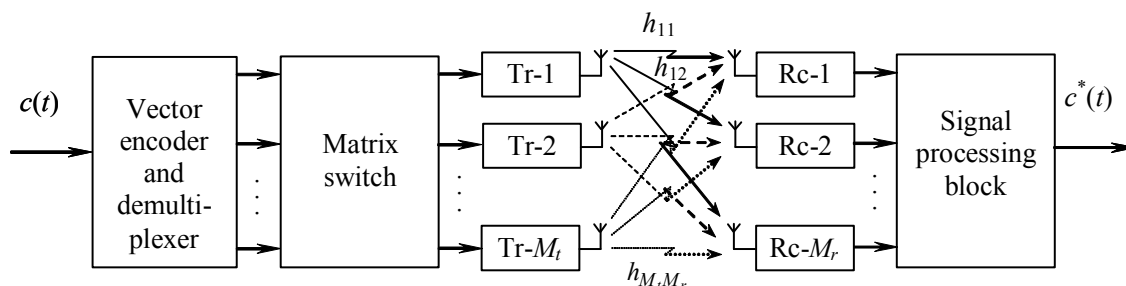


Fig. 1. The block diagram of the MIMO system

Consider the MIMO system $M_t \times M_r$, depicted in Fig. 1. High-speed data flow was divided into M_t independent sequences at $1/M_t$, which was then transmitted simultaneously from several antennas, respectively, using only $1/M_t$ of their primary band.

The data flow converter at the transmitter end of the communication line converts the serial stream into parallel, and at the receiving terminal it performs the inverse transformation.

In such a system, signals on the transmitting side were emitted simultaneously and in the same band of frequencies through the M_t transmit antennas. The transmitted signals, after the effect of the fading of the signal and the additive white Gaussian noise, arrive in the

M_r of the receiving paths. Each additive tract receives an additive mixture of transmitted signals.

Due to the multidirectional effect in the path of radio waves propagation, each of the transmitted signals is repeatedly diverted from various objects, thus forming independent trajectories of radio waves passing between each transmitting and receiving antennas. In this way, MIMO technology can benefit from the multipath effect. In addition, due to the spacing of the antennas, both the transmitting and the receiving side significantly reduces the correlation between the complex transmission coefficients of all paths of signal propagation from transmitting to receiving antennas, which increases the efficiency of signal processing on the receiving side (Table 1).

Table 1 – Characteristics of communication systems using MIMO technology

Generation	3G	3,5G	4G	5G
Beginning of developments	1990	< 2000	2000	2014
Realization	2002	2006-2007	2008-2010	planned to 2020
Services	even more capacity, up to 2 Mbit/s	increase the speed of third-generation networks	high capacity, IP-oriented network, multimedia support, speeds up to hundreds of megabits per second	high capacity, IP-oriented network, multimedia support, speeds up to tens of megabits per second
Transfer rate	to 3,6 Mbit/s	to 42 Mbit/s	100 Mbit/s - 1 Gbit/s	10 Gbit/s - 100 Gbit/s
Modulation	BPSK-64QAM	BPSK-64QAM	BPSK-256QAM	BPSK-1024QAM
Standarts	WCDMA, CDMA2000, UMTS	HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+	LTE-Advanced, WiMax Release 2 (IEEE 802.16m), WirelessMAN-Advanced	На базі технологій WiMAX 2, LTE-Advanced i Wi-Fi.
Technologies	TDD, FDD WCDMA, EV-DO, OFDM	TDD, FDD, CDMA, MIMO, OFDMA	TDD, FDD, MC-CDMA, SC-FDMA, MIMO-BF, OFDM, MIMO-OFDM	MIMO, OFDM, MIMO-OFDM, SDN

Spatio-temporal encoding started using in communication systems starting from the 3G standard.

On the transmission side, the information symbols a_i are divided into blocks of W symbols, respectively processed and radiated through S transmit antennas for a given number of time intervals K_{giv} . The spatial-temporal code can be presented as a generating matrix, in which the rows correspond to the transmit antennas, and the columns are the time intervals for the transmission of symbols:

$$\begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \dots & s_{1K_{\text{given}}} \\ s_{21} & s_{22} & \dots & s_{2K_{\text{given}}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ s_{M_t 1} & s_{M_t 2} & \dots & s_{M_t K_{\text{given}}} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

where s_{jk} , $j = \overline{1, S}$, $k = \overline{1, K_{\text{given}}}$ is function from complex information symbols a_i , $i = 1, 2, \dots$, which is emitted j -th antenna on k -th time interval.

The symbolic speed of the MIMO system is defined as the ratio of the length of the information symbol W to the amount of time required for transmitting this block of time K_{giv} : $R_{\text{STC}} = W/K_{\text{giv}}$. The

higher the R_{STC} symbolic spatial-temporal code, the higher the efficiency of using the frequency resources of the radio channel.

Spatial-time codes are divided into two classes: orthogonal and non-orthogonal. Among the orthogonal codes, it is necessary to allocate the code of Alamouti, whose generative matrix has the form [2-7]:

$$G = \begin{pmatrix} a_1 & -a_2' \\ a_2 & a_1' \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Alamouti character code speed $R_{\text{STC}} = 1$. In the matrix (2) the rows are orthogonal to each other, the same is valid for its columns.

In this research, we confine ourselves to consideration of only orthogonal spatial-temporal codes.

If, in a complex, the transmission coefficients of the first and second transmitting antennas h_1 and h_2 to the receiving antennas, respectively, one can record the system of equations for the signals received in two time intervals k_1 and k_2

$$\begin{cases} y_1 = h_1 \alpha_1 + h_2 \alpha_2 + \eta_1; \\ y_2 = -h_1 \alpha_2' + h_2 \alpha_1' + \eta_2, \end{cases} \quad (3)$$

where $y_i, i = 1, 2$ is the counting of the complex bending in the receiving tract on the i -th time interval; η_i is the countdown of the complex Gaussian noise in the receiving path at the i -th time interval.

It is believed, that the system carries out a coherent reception, that is, the complex coefficients of transmission of paths of propagation of signals between each pair of transmitting and receiving antennas are known.

System (3) can be rewritten in the following form:

$$\begin{cases} h_1' y_1 + h_2' y_2 = (|h_1|^2 + |h_2|^2) a_1 + h_1' \eta_1 + h_2' \eta_2; \\ h_2' y_1 - h_1' y_2 = (|h_1|^2 + |h_2|^2) a_2 + h_1' \eta_2 + h_2' \eta_1. \end{cases} \quad (4)$$

After conversion we get:

$$\begin{cases} \alpha_1 = \frac{h_1' y_1 + h_2' y_2}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)} - \frac{h_1' \eta_1 + h_2' \eta_2}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)}; \\ \alpha_2 = \frac{(h_2' y_1 - h_1' y_2)}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)} - \frac{h_1' \eta_2 - h_2' \eta_1}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)}. \end{cases} \quad (5)$$

In order to calculate the estimates of the transmitted symbols in the demodulator in accordance with the criterion of maximum likelihood, it is necessary to minimize the squares of the norms of the vowels of resignation

$$\alpha_1 - \frac{h_1' y_1 + h_2' y_2}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)} \Bigg\| \Bigg\| \alpha_2 - \frac{(h_2' y_1 - h_1' y_2)}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)} \Bigg\| \Bigg\|^2. \quad (6)$$

Thus, demodulation on the receiving side is reduced first to the calculation of soft ratings

$$\begin{cases} \hat{\alpha}_1 = \frac{h_1' y_1 + h_2' y_2}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)}; \\ \hat{\alpha}_2 = \frac{(h_2' y_1 - h_1' y_2)}{(|h_1|^2 + |h_2|^2)}. \end{cases} \quad (7)$$

System (5) consists of two equations, each containing only one unknown variable, that is, one unknown information symbol, it is possible to calculate the estimates of symbols, that are optimal by the

criterion of maximum likelihood. It should be noted, that while the number of arithmetic operations for calculation is directly proportional to the number of transmitting antennas, that is, the demodulation algorithm according to the maximum probability criterion has a linear computational complexity.

The separation of the two transmitted signals becomes possible due to the orthogonality properties of the matrix (2), which satisfies the following condition:

$$\mathbf{G}'\mathbf{G} = (|a_1|^2 + |a_2|^2) \mathbf{1}. \quad (8)$$

In the general case, the matrix (2) of the space-time code of dimension $M \times K_t$ satisfies a certain condition

$$\mathbf{G}'\mathbf{G} = k \mathbf{1}, \quad (9)$$

where k is a certain constant, then this code is orthogonal; when it is used demodulation of symbols is based on the criterion of maximum probability with linear computational complexity, directly proportional to the number of transmitting antennas.

Unfortunately, for systems with more than two transmit antennas, QAM has no orthogonal codes at speeds $R_{\text{STC}} = 1$. When switching to more transmit antennas, for example, 3 and 4, the symbolic speed of the corresponding orthogonal codes does not exceed 3/4. The symbol speed of the codes for five or more transmitting antennas does not exceed 1/2.

Conclusions

In this article, the authors analyzed the parameters of orthogonal spatial-temporal codes used for signal processing in MIMO systems.

In the course of the analysis, the authors found, that the computational complexity of the orthogonal codes used in MIMO systems is directly proportional to the number of transmitting antennas in the system, which leads to a linear increase in the number of computational operations in the processing of signals using the mentioned spatial-temporal codes.

However, this type of spatial-temporal codes has high energy efficiency in MIMO systems with a small number of antennas.

Consequently, an urgent scientific problem arises, which was solved in further studies by the authors, which consists in developing spatial-temporal signal processing methods with acceptable computational complexity and high energy and spectral efficiency.

REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", Arms and military equipment, No 1(5), pp. 35-40. available at : <http://journals.urau.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed April 15, 2018).
2. Vishnevskiy, V.M., Lyahov, A.I., Portnoy, S.L. and Shannovich I.V. (2005), Broadband wireless communication networks, Technosphere, Moscow, 592 p.
3. Volkov, L.N., Nemirovskiy, M.S. and Shinakov, Yu.S. (2005), *Digital radio communication systems: basic methods and characteristics: a tutorial*, Moscow, Eco-Trends, 392 p.
4. Goldsmith A. (2011) *Wireless communications*, Moscow, Technosphere, 904 p.

5. Slusar V. (2005), "MIMO systems: principles of construction and signal processing", *Electronics: science, technology, business*. No. 8, pp. 52–58, available at http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_974_409.pdf (last accessed April 15, 2018).
6. Veselovskiy, K. (2006), *Mobile radio communication systems*, Hot line Telecom, Moscow, 536 p.
7. Ehab M. Shaheen and Mohamed, Samir (2013), "Jamming Impact on the Performance of MIMO Space Time Block Coding Systems over Multi-path Fading Channel", *REV Journal on Electronics and Communications*, Vol. 3, No. 1–2, January – June, pp. 68 – 72.
8. Slusar, V. I. (2008), "Military communications of NATO countries: problems of modern technologies", *Electronics: science, technology, business*. No. 4, pp. 66 - 71. available at: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_403_181.pdf (last accessed April 15, 2018).
9. Bessai H. (2005), *MIMO Signals and Systems*, : Springer science and Business Media, NY, USA, 206 p.
10. Lee J., Han J. K. and Zhang J. (2009), "MIMO Technologies in 3GPP LTE and LTE-Advanced", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, pp. 1-10.
11. Kuhzi, V. (2006), *Wireless Communications over MIMO Channels. Applications to CDMA and Multiple Antenna Systems*, John Wiley Sons, U.K., Chichester, 363 p.
12. Kuvshinov O.V. and Minochkin D.A. (2006) "Analysis of the characteristics of radio access systems with MIMO technology", *Collection of scientific works of the Military institute of Kyiv National Taras Shevchenko University*, No. 3, MINKU, Kyiv, pp. 51 – 56.

Received 15.05.2018

Accepted for publication 22.07.2018

Аналіз методів обробки сигналів в системах МІМО

Р. М. Животовський, О. С. Моміт

Конфлікти останніх десятиліть (Чеченська війна (Російська Федерація), збройні протистояння в країнах Близького Сходу та Північної Африки, Антитерористична операція на території Донецької та Луганської областей (Операція Об'єднаних Сил)) виходять за рамки існуючих (традиційних) форм та способів ведення бойових дій, проводяться на фоні інформаційно-психологічних операцій та активного використання засобів радіоелектронного подавлення. Отже забезпечення стійкого зв'язку є одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень. Одним з напрямків підвищення завадозахищеності засобів радіозв'язку є використання багатоантенних систем радіозв'язку. Проте вони є складними технічними системами. Існує багато підходів до підвищення завадозахищеності багатоантенних систем, проте автори зазначеної статті обмежилися розглядом лише методів обробки сигналів, а саме ортогональних просторово-часових кодів. В ході дослідження авторами були використані базові положення теорії зв'язку, теорії антен, теорії завадозахищеності та сигнально-кодових конструкцій. В ході проведеного аналізу авторами з'ясовано, що обчислювальна складність ортогональних кодів що використовується в системах МІМО прямо пропорційна кількості передавальних антен в системі, що призводить до лінійного зростання кількості обчислювальних операцій при обробці сигналів з застосуванням зазначених просторово-часових кодів. Проте зазначений вид просторово-часових кодів має високу енергетичну ефективність в системах МІМО з малою кількістю антен. Авторами запропоновано провести розробку методу просторово-часового кодування сигналів в багатоантенних системах радіозв'язку з високою енергетичною та спектральною ефективністю, при цьому, щоб запропонований метод мав прийнятну обчислювальну складність.

Ключові слова: сигнально-завадова обстановка; швидкість передачі інформації; ймовірність бітової помилки; просторово-часова обробка; система МІМО; паралельні канали.

Анализ методов обработки сигналов в системах МІМО

Р. Н. Животовский, А. С. Момит

Конфликты последних десятилетий (Чеченская война (Российская Федерация), вооруженные противостояния в странах Ближнего Востока и Северной Африки, Антитеррористическая операция на территории Донецкой та Луганской областей (Операция Объединенных Сил)) выходят за рамки существующих (традиционных) форм та способов ведение боевых действий, проводятся на фоне информационно-психологических операций та активного использование средств радиоэлектронного подавления. Поэтому вопрос обеспечение стойкой связи есть одним из приоритетных направлений научных исследований. Одним из направлений повышения помехозащищенности средств радиосвязи есть использование многоантенных систем радиосвязи. Они являются сложными техническими системами. Существует много подходов к повышению помехозащищенности многоантенных систем, тем не менее, авторы указанной статьи ограничились рассмотрением лишь методов обработки сигналов, а именно ортогональных пространственно-временных кодов. В ходе исследования авторами были использованные базовые положения теории связи, теории антенн, теории помехозащищенности и сигнально-кодовых конструкций. В ходе проведенного анализа авторами выяснено, что вычислительная сложность ортогональных кодов, что используется в системах МІМО прямо пропорциональная количеству передающих антенн в системе, которая приводит к линейному росту количества вычислительных операций при обработке сигналов с применением указанных пространственно-временных кодов. Тем не менее, указанный вид пространственно-временных кодов имеет высокую энергетическую эффективность в системах МІМО с малым количеством антенн. Авторами предложено провести разработку метода пространственно-временного кодирования сигналов в многоантенных системах радиосвязи с высокой энергетической и спектральной эффективности, при этом, чтобы предложенный метод имел приемлемую вычислительную сложность.

Ключевые слова: сигнально-помеховая обстановка; скорость передачи информации; вероятность битовой ошибки; пространственно-временная обработка; система МІМО; параллельные каналы.

А. О. Подорожняк¹, Є. А. Волоцков¹, О. С. Шевцова²

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Предметом вивчення в статті є дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів для комп'ютерного симулятора віртуального квадрокоптера. **Мета** – розробка алгоритму автоматичного пошуку короткого шляху для квадрокоптера та дослідження методів управління квадрокоптером у програмному середовищі розробленого комп'ютерного додатку з сучасним графічним інтерфейсом для роботи за допомогою джойстика із віртуальною моделлю безпілотного літального апарату. **Задача** – дослідження властивостей сучасних гвинтових безпілотних літальних апаратів із виявленням особливостей їх функціонування та контролю над їх поведінкою. Розглянуті основні особливості безпілотних літальних апаратів на основі квадрокоптерної схеми побудови, проведений огляд існуючих симуляторів, що дозволяють керувати різною авіаційною технікою. Наведений опис розробленого інтерактивного комп'ютерного додатку, завдяки якому користувач виконує управління безпілотним літальним апаратом у вигляді квадрокоптера. Виявлені особливості переміщення віртуального квадрокоптера у просторі з урахуванням усіх існуючих типів маневрів і з урахуванням інтеграції сучасного контролера для подачі команд літальному апарату та управління створеним програмним інтерфейсом користувача. Проведено розробку методу автоматичного управління літальним апаратом у разі виникнення надзвичайних ситуацій, що дозволяє виконувати самостійне повернення до точки старту за допомогою алгоритму пошуку короткого шляху. **Висновки:** проведене дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів з використанням розробленого програмного симулятора квадрокоптера, що управляється за допомогою джойстика або автоматично, показало працездатність запропонованого методу автоматичного управління літальним апаратом у разі виникнення надзвичайних ситуацій на основі алгоритму пошуку короткого шляху.

Ключові слова: система управління; безпілотний літальний апарат; стимулятор; квадрокоптер.

Вступ

Науково-технічний прогрес на сьогоднішній день значною мірою сприяє розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що підтримують дистанційне керування. Потенціал цієї техніки ще досі не розкритий в повній мірі, але вже зараз вони широко використовуються у різних галузях життя і продовжують вдосконалюватися, займаючи своє місце у різних сферах людського життя.

Управління будь-яким БПЛА вимагає від оператора певного рівня підготовки або навичок. Для тренувань чи ознайомлення з технічними особливостями та управлінням літальним засобом існують різні види авіаційних симуляторів, що різняться між собою залежно від мети, яку прагне досягнути під час використання користувач [1, 2].

Використання таких програмних рішень дозволяє виконувати тренування операторів БПЛА для подальшого покращення їх навичок роботи з такою технікою. Також розробка авіаційних симуляторів дозволяє розглянути поведінку БПЛА у спеціально підготовлених умовах для тестування нових характеристик та методів управління [3].

Основні дані про БПЛА

Безпілотні літальні апарати є одним із видів літальних апаратів, особливістю яких є здійснення польоту та посадки без фізичної присутності пілота на борту. За сучасним визначенням, БПЛА є тільки той апарат, який знаходиться під постійним дистанційним контролем пілота або пілотів і призначений для повернення на аеродром і для подальшого по-

вторного використання. Залежно від принципів керування, розрізняють такі різновиди безпілотних літальних систем: некеровані, автоматичні та дистанційно-пілотовані апарати. БПЛА широко застосовуються для виконання різноманітних завдань: моніторинг повітряного простору, земної й водної поверхонь, розвиток систем зв'язку, художня фотографія, керування повітряним рухом тощо.

Мультикоптер – вид БПЛА із довільною кількістю несучих гвинтів, що розміщені на одній площині та обертаються діагонально в протилежних напрямках. Іноді вживається поняття квадрокоптер, хоча воно відноситься до БПЛА із чотирма роторами. Мультикоптери виконують політ за допомогою обертання несучих гвинтів. Від швидкості кожного з них залежить тип маневру, що виконує літальний засіб. Мультикоптери здатні виконувати вертикальний зліт та посадку, повороти навколо своєї осі, переміщення у чотирьох напрямках, а також мають змогу стабільно зависати у повітрі, тримаючи висоту. На рис. 1 показані напрям руху гвинтів для рівномірного затримання в повітрі.

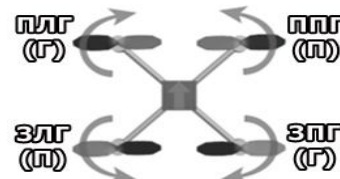


Рис. 1. Напрями руху гвинтів:

ПЛГ(Г) – передній лівий гвинт (за год. стрілкою),
ППГ(П) – передній правий гвинт (проти год. стрілки),
ЗЛГ(П) – задній лівий гвинт (проти год. стрілки),
ЗПГ(Г) – задній правий гвинт (за год. стрілкою).

Мультикоптери є БПЛА, що означає їх дистанційність в управлінні. Для контролю над апаратом із землі використовується спеціальний пульт управління. За допомогою аналогових стіків виконується подача сигналів від оператора на приймач, що знаходиться всередині мультикоптера. Літальний контролер трансформує отриманий сигнал у команду для управління моторами, що у свою чергу виконують прискорення гвинтів або їх уповільнення, залежно від типу потрібного маневру. У табл. 1 подані чотири основні типи маневрів квадрокоптера.

Таблиця 1 – Види маневрів квадрокоптера

Назва	Дія на гвинти	Результат дії
Газ	Рівномірне прискорення або сповільнення усіх 4 гвинтів	Переміщення вгору і вниз
Рискання	Рівномірне прискорення 2 гвинтів, що обертаються за годинниковою стрілкою та сповільнення 2 інших і навпаки	Поворот навколо власної осі
Тангаж	Рівномірне прискорення 2 задніх гвинтів та сповільнення передніх і навпаки	Переміщення вперед і назад
Крен	Рівномірне прискорення 2 гвинтів з одного боку та сповільнення з іншого	Переміщення ліво і вправо

Огляд сучасних симуляторів

Авіаційними симуляторами називають симулятори польоту на певному повітряному судні, що означає можливість повного контролю над його віртуальною моделлю [4, 5]. Такі симулятори в наш час є надзвичайно поширеними в різних галузях життя та суттєво відрізняються своїми характеристиками в залежності від призначення: від комп'ютерних ігор і простих механіко-електронних пристроїв з приладовою панеллю і передньою частиною фюзеляжу, до складних комплексів з сучасними системами візуалізації і перевантажень, призначених для навчання пілотів бойових літаків і космонавтів.

Авіаційні тренажери являють собою більш складні симулятори польоту, що призначені для наземної підготовки пілотів. У такому тренажері використовуються технічні засоби, які імітують шляхом апаратно-програмного комплексу динаміку польоту та роботу систем повітряного судна за допомогою спеціальних моделей, реалізованих у програмному забезпеченні обчислювального комплексу такого тренажера.

Симулятори бувають трьох видів: аркадні, реалістичні та професійні. Для виконання управління в симуляторі використовується спеціальний джойстик, що імітує реальний пульт управління, дуже часто повністю повторюючи його конструкцію. Дуже часто застосовуються спеціальні ігрові джойстики, які можна перепрограмувати під використання в якості пульта для управління БПЛА.

Управління віртуальним БПЛА

Орієнтація квадрокоптеру у просторі задається трьома кутами: рискання – ψ , тангажу – θ , крена – ϕ , рис. 2 [6, 7]. Усі разом ці кути складають вектор

$\Omega T = (\psi \theta \phi)$. Позиція апарату у просторі задається радіус-вектором $rT = (x \ y \ z)$.

На кожний із чотирьох моторів квадрокоптера діє формула, що описує силу кожного з моторів, які приводять у рух гвинти та протидіють силі гравітації Землі: $F_i = b \cdot \omega_i^2$, де ω_i – кутова швидкість двигуна, а b – коефіцієнт пропорційності.

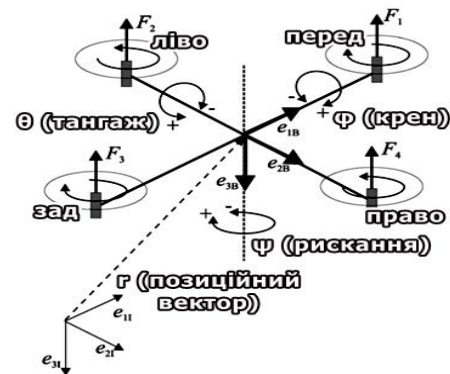


Рис. 2. Схема кутів, що визначають орієнтацію квадрокоптера у просторі

Математична модель квадрокоптера представляє собою систему диференціальних рівнянь, що описують стан літального апарату в просторі щодо вертикальних сил, що створюються його гвинтами:

$$(\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k, \phi, \theta, \psi) = f(F1, F2, F3, F4, M1, M2, M3, M4), \quad (1)$$

де $\ddot{x}_k, \ddot{y}_k, \ddot{z}_k$ – прискорення центру мас квадрокоптера щодо відповідних осей; ϕ, θ, ψ – кути, що описують орієнтацію квадрокоптера в просторі; $F1, F2, F3, F4$ – тягові зусилля, що створюються відповідними двигунами. Динаміка руху центру мас квадрокоптера описується за допомогою диференціальних рівнянь.

У якості літального засобу, контроль над яким здійснюється в додатку, представлений квадрокоптер на дистанційному управлінні. Програма симуляції працює на ПК з ОС Windows, керування віртуальним засобом здійснюється за рахунок підключеного через порт USB контролеру управління.

У якості основного засобу розробки було обрано Unity, що є популярним інструментом для створення комп'ютерних ігор та інших додатків. Програма, що розроблена у середовищі Unity, працює за допомогою спеціальних скриптів. Для написання цих скриптів було обрано середовище програмування Visual Studio. Середовище розробки коду можна запускати прямо з редактора Unity, обираючи потрібний скрипт або створюючи новий, таким чином обидва продукти є сумісними між собою і саме тому вони були обрані в якості основних інструментів у розробці тренажерного симулятора БПЛА.

Управління у програмі виконується завдяки підключеному через USB порт контролеру Logitech F510. У середовищі Unity були перетворені сигнали з джойстика у спеціальні команди на мові C# та налаштовані такі параметри: імена сигналів, чутливість до руху стіків, мертва зона тощо.

Для кожної із чотирьох осей цих стіків характерна певна функція, яку вона виконує. У квадрокоптера це газ, тангаж, крен та ризикання. На рис. 3 представлена схема контролеру та функції, що він виконує завдяки переміщенню стіків у різних напрямках.



Рис. 3. Схема функцій джойстика

Таким чином, вертикальна вісь лівого стіку відповідає за підйом, а горизонтальна – за ризикання. Вертикальна вісь правого стіку контролює тангаж, а горизонтальна – крен. У програмі діє певна фізична модель (1), тобто квадрокоптер є твердим тілом, на яке діють закони гравітації [1, 8, 9]. При значному зменшенні швидкості обертання гвинтів, БПЛА починає падати на землю і у разі великої сили падіння, може відскакувати від неї на невеликі відстані. Політ БПЛА користувач може здійснювати по невеликій ділянці земної поверхні, що містить нерівності, дерева, в які може врізатися ВМ квадрокоптера та траву. У разі сильного зіткнення із землею або деревом, квадрокоптер втрачає управління та може втрачати контроль.

Система автоматичного повернення БПЛА до стартової точки

Для виконання автоматичного повернення у місце старту квадрокоптера використовується спеціальний алгоритм пошуку найбільш короткого шляху. Таким чином БПЛА уникає можливих зіткнень із усіма відомими перешкодами на своєму шляху. Для пошуку команд, що переміщують квадрокоптер по місцевості, застосовується алгоритм А*.

Алгоритм пошуку А* належить до евристичних алгоритмів пошуку. Використовується для пошуку найкоротшого шляху між двома вершинами графу з додатними вагами ребер. Описаний Пітером Хартом, Нільсом Нільсоном та Бертрамом Рафаелем, алгоритм використовує допоміжну функцію (евристику), аби скеровувати напрям пошуку та скорочувати його тривалість [10, 11]. Алгоритм повний в тому сенсі, що завжди знаходить оптимальний розв'язок, якщо він існує. На рис. 4 продемонстроване візуальне відображення алгоритму.



Рис. 4. Візуалізація реалізованого алгоритму А*

А* покроково переглядає всі шляхи, що ведуть від початкової вершини в кінцеву, поки не знайде мінімальний. Як і усі інформовані щодо проблемної області пошуку алгоритми, він переглядає спочатку ті маршрути, які «здається» ведуть до мети. Від кожного алгоритму, який теж є алгоритмом пошуку по першому найкращому збігу, його відрізняє те, що при виборі вершини він враховує, крім іншого, весь пройдений до неї шлях. Пріоритет шляху визначається за значенням

$$f(x) = g(x) + h(x), \quad (2)$$

де $f(x)$ – вартість вибраного шляху, $g(x)$ – це вартість шляху від початкової вершини, $h(x)$ – це вартість наступного кроку шляху.

На початку роботи проглядаються вузли, суміжні з початковим; вибирається той з них, який має мінімальне значення $f(x)$, після чого цей вузол розкривається. На кожному етапі алгоритм оперує з множиною шляхів з початкової точки до всіх ще не розкритих (листових) вершин графа (множиною часткових рішень), яке розміщується в черзі з пріоритетом. Алгоритм продовжує свою роботу до тих пір, поки значення $f(x)$ цільової вершини не виявиться меншим, ніж будь-яке значення в черзі, або поки все дерево не буде переглянуто. Із множини рішень вибирається рішення з найменшою вартістю.

Згідно з цим алгоритмом, квадрокоптер виконує повернення до точки старту при переході у режим автоматичного керування. Використаний у розробленій програмі алгоритм включає в себе послідовне виконання наступних кроків:

- 1) карта доступної для польоту місцевості розбивається на квадрати певної площі, які відповідно до існуючих об'єктів помічаються як прохідні та непрохідні для квадрокоптера;
- 2) програма знаходить прямий маршрут від точки знаходження квадрокоптера до місця його старту та перевіряє наявність перешкод на шляху по отриманим на попередньому кроці квадратам;
- 3) у разі зустрічі прокладеного маршруту із перешкодою, програма перевіряє інші шляхи до потрібної точки, послідовно перевіряючи усі найближчі варіанти, формуючи «закритий» та «відкритий» списки доступних вузлів на місцевості;
- 4) після того як усі можливі вузли переглянуті, починається пошук найбільш короткого шляху за рахунок тих методів переміщення, що здатні довести літальний апарат до місця призначення;
- 5) вираховувавши оптимальний маршрут для відправки квадрокоптера в точку старту, програма починає його переміщення по прямим лініям через необхідну послідовність вузлів.

Блок-схема реалізованого авторами алгоритму автоматичного повернення БПЛА до стартової точки наведена на рис. 5.

У розробленій програмі при цьому виконується повне відображення всього процесу у трьохвимірному вигляді [12]. Оператор БПЛА може в будь-який момент переключити управління на автоматичний режим завдяки натисненню відповідної кнопки.



Рис. 5. Алгоритм автоматичного повернення БПЛА до стартової точки

За замовчуванням у якості точки старту виступає місцезнаходження квадрокоптера при включенні програми. Але при подальшому приземленні літального апарату на земну поверхню, система автоматично виявляє координати квадрокоптера та змінює точку старту. Оператор може в будь-який момент перервати автоматичний режим польоту, натиснувши ту ж саму кнопку на контролері.

Висновки

Таким чином, було проведено дослідження системи управління безпілотних літальних апаратів та створена програма, що дозволяє виконувати управління БПЛА у вигляді квадрокоптера.

Під час розробки були розглянуті такі види безпілотних засобів як мультикоптери, приведені особливості їх будови, основні принципи їх

управління, розглянуті переваги та недоліки квадрокоптерів.

Також для розуміння поняття авіасимуляторів були вивчені особливості їх класифікації, способи, за якими здійснюється управління в них та базові математичні складові симулятору.

Програма, яка була створена в результаті попередніх дій, була розроблена в середовищі Unity, з використанням скриптів на мові C#. Квадрокоптер, управління яким користувач здійснює за допомогою підключеного джойстика, може здійснювати базові маневри реального прототипу: газ, ризикання, тангаж і крен, задаючи швидкість обертання гвинтів. Також у програмі представлений алгоритм пошуку короткого шляху до точки старту, що дозволяє у будь-який момент повернути БПЛА у місце його запуску. При цьому квадрокоптер автоматично уникає усі перешкоди на своєму шляху завдяки інформації про місцевість, отриману за допомогою знімків місцевості з повітря.

Напрямок подальшого дослідження є робота над створенням повнофункціонального авіасимулятора управління БПЛА для підготовки операторів їх управління. Такий продукт дозволить значно підвищити якість та зменшити вартість підготовки операторів реальних безпілотних систем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Volotskov E. A. Drone's control system research / E. A. Volotskov, A. O. Podorozhniak // Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я: XXV МНПК MicroCAD-2018, 16-18.05.2018, Ч. IV. – Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 159.
- Rattat C. Multicopter selber bauen: Grundlagen – Technik – eigene Modelle / C. Rattat. – Verl., Heidelberg, 2015. – 418 p.
- Walid M., Slaheddine N., Mohamed A. and Lamjed B. "Modeling and control of a quadrotor UAV," 2014 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, 2014, pp. 343-348. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/STA.2014.7086762>.
- Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером / А.Е. Гурьянов // Инженерный вестник: Общероссийская общественная организация "Академия инженерных наук им. А.М. Прохорова" 2014. № 8. С. 522-534.
- Савицкий А.В., Павловский В.Е. Модель квадрокоптера и нейросетевой алгоритм управления / А.В. Савицкий, В.Е. Павловский // Препринты ИПМ им. Келдыша. 2017. № 77. – 20 с. – URL: <http://dx.doi.org/10.20948/prepr-2017-77>.
- Белинская Ю.С., Четвериков В.Н. Управление четырехвинтовым вертолетом / Ю.С. Белинская, В.Н. Четвериков // Наука и образование. 2012. № 5. С. 157-171. – URL: <http://dx.doi.org/10.7463/0512.0397373>.
- Голубев А. Е. Отслеживание программного изменения угла атаки для продольной динамики ракеты класса «воздух-воздух» с помощью метода обхода интегратора // Наука и образование. Москва: ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". 2013. № 11. С. 401-414. – URL: <http://dx.doi.org/10.7463/1113.0622518>.
- Podorozhniak A., Liubchenko N. Balenko O., Zhuikov D. Neural network approach for multispectral image processing / A. Podorozhniak, N. Liubchenko, O. Balenko, D. Zhuikov // 14th International Conference on Advanced Trends in Radio-electronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018) February 20 – 24, 2018. – Lviv-Slavske, Ukraine: proc. – Lviv, 2018. – pp. 978-981. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336357>.
- Прібілев Ю.Б., Подорожняк А.О., Сакович Л.М. Постановка завдання параметричної оптимізації складних технічних систем та можливі підходи до її вирішення / Ю.Б. Прібілев, А.О. Подорожняк, Л.М. Сакович // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава: ПНТУ ім. Ю. Кондратюка. – вип. 2 (38). – 2016. – С. 48 – 52.
- Hart P.E., Nilsson N.J., Raphael B. Correction to «A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths» / P.E. Hart, N.J. Nilsson, B. Raphael // SIGART Newsletter. – 1972. – Т. 37. – pp. 28-29.
- Нильсон Н. Искусственный интеллект: методы поиска решений / Н. Нильсон. – М.: Мир, 1973. – 273 с.
- Нещадым В.А. Исследование необходимости использования верификации программ / В.А. Нещадым, О.С. Шевцова // матеріали V Всеукраїнської конференції "ІЕБтаЗ" (04 квітня 2013 р., м. Дніпропетровськ): тези доповіді. – Національний гірничий університет, 2013. – С. 15.

REFERENCES

- Volotskov, E.A. and Podorozhniak, A.O. (2018), "Drone's control system research", Proc. 25th Int. conf. "Information technology: science, technology, education, health MicroCAD-2018", part IV, NTU "KhPI", Kharkiv, p. 159.
- Rattat, C. (2015), "Multicopter selber bauen: Grundlagen – Technik – eigene Modelle", Verl., Heidelberg, 418 p.
- Walid, M., Slaheddine, N., Mohamed, A. and Lamjed, B. (2014), "Modeling and control of a quadrotor UAV", 15th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), Hammamet, pp. 343-348, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/STA.2014.7086762> (last accessed June 15, 2018).

4. Guryanov, A.E. (2014), "Quadcopter control simulation", *Inzhenernyi vestnik*, Obscherossiyskaya obschestvennaya organizatsiya "Akademiya inzhenernykh nauk im. A.M. Prohorova", No. 8, pp. 522-534.
5. Savitskiy, A.V. and Pavlovskiy, V.E. (2017), "Quadrocopter model and neural network control algorithm", *Preprinty IPM im. Keldysha* [Preprints of the IMF named after Keldysh], No. 77, 20 p., available at: <http://dx.doi.org/10.20948/prepr-2017-77> (last accessed June 15, 2018).
6. Belinskaya, Yu.S. and Chetverikov, V.N. (2012), "Four-screw helicopter control", *Nauka i obrazovanie* [Science and education], No. 5, pp. 157-171, available at: <http://dx.doi.org/10.7463/0512.0397373> (last accessed June 15, 2018).
7. Golubev, A. E. (2013), "Tracking software change of angle of attack for longitudinal dynamics of an air-to-air missile using an integrator bypass method", *Nauka i obrazovanie* [Science and education], No. 11, pp. 401-414, available at: <http://dx.doi.org/10.7463/1113.0622518> (last accessed June 15, 2018).
8. Podorozhniak, A., Liubchenko, N., Balenko, O. and Zhuikov, D. (2018), "Neural network approach for multispectral image processing", *14th Int. Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET 2018)*, Lviv-Slavske, Ukraine, pp. 978-981, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/TCSET.2018.8336357> (last accessed June 15, 2018).
9. Pribylev, Yu.B., Podorozhniak, A.O. and Sakovich, L.M. (2016), "The formulation of the problem of parametric optimization of complex technical systems and possible approaches to its solution", *Sistemi upravlinnya, navigatsiyi ta zvyazku*, PNTU, Poltava, No. 2 (38), pp. 48-52.
10. Hart, P.E., Nilsson, N.J. and Raphael, B. (1972), "Correction to "A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths"", *SIGART Newsletter*, Vol. 37, pp. 28-29.
11. Nilson, N. (1973), *Artificial Intelligence: Methods to Find Solutions*, Mir, Moscow, 273 p.
12. Neschadym, V.A. and Shevtsova O.S. (2013), "Research on the need for program verification, Materials of the 5th All-Ukrainian Conference "IEBtaZ": abstracts of the report, National Mining University, Dnipropetrovsk, p. 15.

Надійшла (received) 04.07.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.08.2018

Исследование системы управления беспилотных летательных аппаратов

А. А. Подорожняк, Е. А. Волоцков, О. С. Шевцова

Предметом изучения в статье является исследование системы управления беспилотных летательных аппаратов для компьютерного симулятора виртуального квадрокоптера. **Цель** – разработка алгоритма автоматического поиска короткого пути для квадрокоптера и исследование методов управления квадрокоптер в программной среде разработанного компьютерного приложения с современным графическим интерфейсом для работы с помощью джойстика с виртуальной моделью беспилотного летательного аппарата. **Задача** – исследование свойств современных винтовых беспилотных летательных средств с выявлением особенностей их функционирования и контроля за их поведением. Рассмотрены основные особенности беспилотных летательных аппаратов на основе квадрокоптерной схемы построения, проведен обзор существующих симуляторов, позволяющих управлять различной авиационной техникой. Приведено описание разработанного интерактивного компьютерного приложения, благодаря которому пользователь осуществляет управление беспилотным летательным аппаратом в виде квадрокоптера. Выявлены особенности перемещения виртуального квадрокоптера в пространстве с учетом всех существующих типов маневров с учетом интеграции современного контроллера для подачи команд летательному аппарату и управления созданным программным интерфейсом. Проведена разработка метода автоматического управления летательным средством, который в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, позволяет выполнять самостоятельное возвращение к точке старта с помощью алгоритма поиска кратчайшего пути. **Выводы:** проведенное исследование системы управления беспилотных летательных аппаратов с использованием разработанного программного симулятора квадрокоптера, который управляется с помощью джойстика или автоматически, показало работоспособность предложенного метода автоматического управления летательным средством в случае возникновения чрезвычайных ситуаций на основе алгоритма поиска короткого пути.

Ключевые слова: система управления; беспилотный летательный аппарат; квадрокоптер, симулятор.

Drone's Control System Research

A. Podorozhniak, Ye. Volotskov, O. Shevtsova

The **subject** of the study in the article is research of the control system of unmanned aerial vehicles for the computer simulator of virtual quadcopter. **The goal** is the development of an algorithm for automatically finding a shortcut for a quadcopter and researching control methods for a quadcopter in a software environment of a developed computer application with a modern graphical interface for working with a joystick with a virtual model of an unmanned aerial vehicle. **The task** is research of the properties of modern screw unmanned aerial vehicles with the identification of features of their functioning and control over their behavior. The main features of unmanned aerial vehicles on the basis of a quadcopter construction scheme are considered, a review of existing simulators allowing control of various aviation equipment is conducted. The description of the developed interactive computer application, thanks to which the user controls the unmanned aerial vehicle in the form of a quadcopter, is given. The features of moving a virtual quadcopter in space, taking into account all existing types of maneuvers, taking into account the integration of a modern controller to issue commands to an aircraft and control the created software interface, are revealed. A method has been developed for automatic control of aircraft, which, in the event of an emergency, allows for an independent return to the starting point using the shortcut search algorithm. **Conclusions:** A study of the control system of unmanned aerial vehicles using the developed quadcopter software simulator, which is controlled by a joystick or automatically, showed the efficiency of the proposed method of automatic control of aircraft in case of emergencies based on the shortcut search algorithm.

Keywords: control system; unmanned aerial vehicle; quadcopter, simulator.

A. Soboliev¹, D. Lande²¹ Institute of special communication and information security of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine² Institute for information recording of National academy of science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

SOCIAL NETWORK NODES RANKING IN TERMS OF LOGARITHMIC FUNCTION OF ITS LINK WEIGHTS

Social networks are the basis of all interactions among its participants (usually people), which happen in the process of transmitting information. Lately this term is becoming more and more popular, but hardly anyone can really imagine how much it surrounds us. Social type networks are represented by means of graphs and node connections, which reflect real cooperation. It is necessary to conduct the detailed network analysis, evaluate the results by all specified standards and separate the most important nodes for ranking them in these networks. Existing ranking algorithms mainly evaluate everything in general, which does not allow to clearly recognise the consequence of nodes inter se. In the given article we provide the analysis of work educts of well-known node ranking algorithms (HITS, PageRank) and compare obtained data with expert network evaluation. Big amount of nodal connections in social networks and their various configuration in most cases do not allow to use the base type ranking algorithms, since the neglect of seemingly irrelevant connections induces false results. The base type algorithm HITS was adjusted for efficiency of the quasiheirarchic networks research. It allows to perform analysis and node ranking based on specified criteria (the amount of input and output connections inter se), which corresponds with the results of expert evaluation. It is displayed, that in some cases the received method offers corresponding with real social relations between subjects insights, and exponents of node authorships - with previously provided social roles. Received algorithm allows to evaluate and educe the most relevant nodes in social character networks. It can be used in various spheres, where social networks are formed.

Keywords: quasiheirarchic social character networks; network subjects; ranking algorithm; HITS method; PageRank method; node ranking; F-measure; expert evaluation.

Introduction

Nowadays, when social networks are not just a composite of society, but have rather big influence on it, we should clearly understand all possible effluent risks and be ready for serious consequences in case of negligent attitude to this situation. Term "social networks" refers not only to online social networks, which are used as means of communication, but all connections, which happen among people (social subjects) for transferring information. It should also be noted that the network of social character is the network, nodes of which are social subjects, and connections are contacts, which are followed by information exchange among them. Defining the quasihierarchic network, one should consider the network close to hierarchic one with its hierarchy being violated with a small amount of additional connections.

Work objective. The objective of this work is the description and research of node ranking algorithm efficiency of quasihierarchic social networks, which is based on HITS algorithm modification as compared to other node ranking network algorithms.

Analysis of recent researches and publications. The research of social networks, definition of their organisation and value, analysis of the impact process on them are actively going on in the global IT sphere. Analysis of the mechanisms, which allow to control networks and conduct the necessary manipulations amidst informational intrusion of what is advisable for manipulator, starting with selling unnecessary goods and ending with cyberwars. Social network analysis process is very bothersome, as the wrong action can lead to an unexpected result or, in the worst case scenario, to the loss of control over this network.

Exposition of basic research material

By the social character network ranking one should understand the nodes (social subjects) seriation process on the certain grounds, which allows to define the set nodes decisiveness inter se.

For visual display, this network is introduced by vectored graph, in which nodes are represented by subject tokens (social networks profile pages, phone numbers, electronic addresses), and connections between them are directed by links.

For mathematical representation such graph is displayed in the form of nodes adjacency matrix, and the value in this matrix box reflects the number of directed links.

According to HITS algorithm, two exponents are calculated for every network node:

- mediation index (hub);
- authorship index (auth);

The mediation index *hub* of A_i node of A_j network, which consists of n nodes equals nodes authorship vertical sum, which it refers to:

$$hub A_i = \sum_{j \leftarrow i} auth A_j,$$

Authorship index *auth* of A_i node of A_j network equals nodes mediations vertical sum, which it refers to:

$$auth A_i = \sum_{j \rightarrow i} hub A_j,$$

Presented formulas assign auxiliary iterated calculation algorithm of mediation and authorship indexes for all network nodes.

Talking about more complex networks (scale-free networks) with the number of nodes being over 1000 (big

organisations, etc.) the assumption about the social subjects, who serve as different ranks executives, is almost impossible without special operation algorithms [1].

Such characteristics as nodes degree distribution, which is defined as the probability of a node having a degree (node degree is the number of links connected to this node), resides in scale-free networks. It is a node degree exponential distribution network that is called scale-free, being most often observed in real life large networks [7].

It should be noted that the amount of connections in QSCN equals the amount of nodes. Given statement can be represented in the following mathematical view:

$$N_i = O(N_j),$$

where N_i – the amount of connections in the network;
 N_j – the amount of nodes in the network.

If examining QSCN one can observe clear (also plausible) one way link, it is undoubtedly which node in the pair has bigger rank.

In these networks 3 main kinds of relationships for a node pair are observed:

- leader - subordinate;
- equal rank nodes;
- the lower rank nodes have direct connection with the higher rank nodes.

When subject A directs subject B in social character network, it is offered to consider it as overall ratio weight, one of criteria of which is time index.

It is necessary to mention that a leader chaotically contacts a subordinate in case of problem statement necessity. Therefore a subordinate, with definite consistent periodicity, answers to a leader for outgoing order execution.

While estimating the nodes amount characteristics, the following fact takes place: a leader contacts a subordinate more often meaning that the significance of outgoing communication from a leader must exceed the incoming communication significance. [1]

It should be noted, that we examine only integrated and most widespread contact pattern between a leader and a subordinate. In real work this pattern can be completed with other specific characteristics, which will increase the efficiency of weight evaluation of node pair contacts.[6]

Sometimes it happens that a lower rank worker helps (during the work process) a worker of higher rank or a high rank executive gives an order to a worker of much lower hierarchy level. Such situations can lead to appearance of non-hierarchic connections in such type of network. These cases are rare, so we consider a network as quasihierarchic one. Meanwhile, using basic HITS algorithm for node ranking in the above-stated network can have little result, as even a weak and insignificant connection (disregarding its weight) can have a big influence on nodes portability and authorship indexes [4].

For node ranking in the social character networks we can use PageRank algorithms:

$$PR(A) = (1 + d) + d \sum_{i=1}^n \frac{PR(T_i)}{C(T_i)},$$

where $PR(A)$ – PageRank weight for page A ; d – damping index; $PR(T_i)$ – PageRank weight for a page, which indicates page A ; $C(T_i)$ – number of links from this page; n – pages, which refer to page A .

Exposition of main results

For mathematical realisation of iterative node ranking conception it should be noted that the most influential subject in the network is the one having the biggest amount of outgoing connections with other network subjects.

For demonstration and evaluation of node ranking efficiency represented on Fig. 1, let us examine the QSCN consisting of 13 subjects with knowingly spaced certain connections, use the above-stated methods and compare the received results.

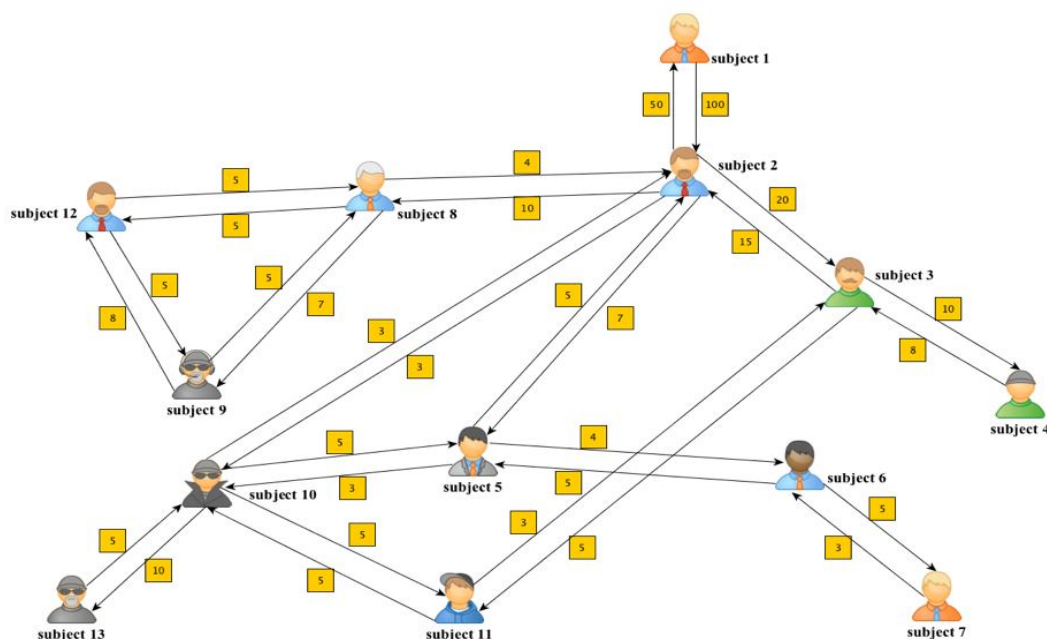


Fig. 1. Quasihierarchic social character network

When ranking the network with HITS algorithm, we ultimately receive two parameters: authorship and mediation indexes, which do not allow us to rank the network upon 2 criteria simultaneously. In order to solve this issue it is necessary to use metrics combining the information about authorship and mediation indexes of our algorithm. Let us use F-measure as such metrics:

$$F(A_i) = 2 / \left(\frac{1}{auth A_i} + \frac{1}{hub A_i} \right),$$

where $F(A_i)$ – F-measure of A_i node of the network; $hub A_i$ – mediation index; $auth A_i$ – authorship index.

After analysing the received network ranking results according to Table 1, it is much in evidence, that authorship and mediation indexes are equal. It is due to feedback between nodes being observed in QSCN and basic HITS algorithm not providing the necessary results of ranking such networks. Also, comparing the work results of HITS and PageRank algorithms with given expert evaluation we can claim that the above-mentioned algorithms in their basic state are not effective for node ranking in QSCN.

PageRank index considers only incoming links and does not separate such concept as mediator. It severely influences the general result, as modest network connections can cardinaly change it.

It is offered to use HITS algorithm for method adaptation and consider edges weight when calculating every network nodes index.

To trace the efficiency of the above-mentioned statement, let us modify the HITS algorithm formulas using the multiplying by connections weight between nodes, resulting in:

$$hub A_i = \sum_{j \leftarrow i} auth A_j \cdot E_{ij},$$

where $auth A_j$ – authorship index of node A_j of the network; $hub A_i$ – mediation index of node A_i ; E_{ij} – connections weight between nodes A_i and A_j .

$$auth A_i = \sum_{j \rightarrow i} hub A_j \cdot E_{ij},$$

where $hub A_j$ – mediation index of node A_j of the network; $auth A_i$ – authorship index of node A_i ; E_{ij} – connections weight of between nodes A_j and A_i .

Table 1. The results of network node ranking with PageRank algorithms and basic HITS algorithm and expert evaluation

Expert evaluation (№ Node)	PageRank (№ Node)	HITS		
		Auth (№ Node)	Hub (№ Node)	F (№ Node)
2	2	2	2	2
1	10	10	10	10
3	3	5	5	5
8	5	8	8	8
5	8	3	3	3
10	6	11	11	11
11	11	1	1	1
9	9	9	9	9
12	12	12	12	12
4	7	6	6	6
13	4	13	13	13
6	13	4	4	4
7	1	7	7	7

Table 2. Results of network nodes ranking with modified HITS algorithm and experts evaluation

Expert evaluation (№ Node)	HITS		
	Auth (№ Node)	Hub (№ Node)	F (№ Node)
2	2	1	1
1	1	2	2
3	3	3	3
8	8	5	8
5	5	8	5
10	10	10	10
11	4	4	4
9	11	9	11
12	13	11	9
4	12	12	12
13	9	6	13
6	6	13	6
7	7	7	7

After the evaluation of the received work results of modified HITS algorithm according to Table 2 with experts evaluation data, we can claim that in general they are similar, but they do have irregularities. That is why the modified HITS method is ineffective during the general evaluation in QSCN. For detailed network evaluation it is necessary to analyse the received authorship and mediation results with expert evaluation data, as even insignificant connections can severely influence the ranking results and determining the most significant network nodes.

As weight definitions disposal irregularity can influence the results fidelity, their values must be decreased by multiplying them on some steadily increasing function, which is less steep than a linear one. In the context of the offered algorithm, we will use the modified HITS algorithm as such function. Then we will modify the formulas by multiplying them on hyperbolic logarithm of connections weight between nodes. The result is as follows:

$$hub A_i = \begin{cases} \sum_{j \leftarrow i} auth A_j \cdot \ln(E_{ij}), E_{ij} > 0; \\ 0, E_{ij} = 0, \end{cases}$$

where $auth A_j$ – authorship index of node A_j of the network; $hub A_i$ – mediation index of node A_i ; E_{ij} – connections weight between nodes A_i and A_j .

$$auth A_i = \begin{cases} \sum_{j \rightarrow i} hub A_j \cdot \ln(E_{ji}), E_{ji} > 0 \\ 0, E_{ji} = 0 \end{cases},$$

where $hub A_j$ – mediation index of node A_j of the network; $auth A_i$ – authorship index of node A_i ; E_{ji} – connections weight between nodes A_j and A_i .

For work efficiency evaluation of the received algorithm and the check concerning another parameter we will use degree of 1/3 of connections weight in the first case and hyperbolic logarithm in the other in modified $auth A_j$ and $hub A_j$ formulas and check their work results on QSCN.

During the research process of the received results set out in Table 3 of modified algorithm, we can observe considerable discrepancy in calculated values.

It is determined that, when using hyperbolic algorithm of connections weight in nodes, modified method provides the results, which correspond with the real social relations, while the authorship index showed the hierarchic subject dependence in the network.

Table 3. Results of network node ranking with modified HITS algorithms and experts evaluation

Expert evaluation (№ Node)	HITS, 1/3			HITS, $\ln$		
	auth (№ Node)	hub (№ Node)	F (№ Node)	auth (№ Node)	hub (№ Node)	F (№ Node)
2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1
3	3	3	3	3	3	3
8	5	10	5	5	10	8
5	8	5	8	8	8	5
10	10	8	10	10	5	10
11	11	11	11	11	9	11
9	12	9	9	12	11	9
12	9	12	12	4	12	12
4	13	4	4	13	4	4
13	4	6	13	9	6	13
6	6	13	6	6	13	6
7	7	7	7	7	7	7

It should be noted that given modified algorithm with the value of connections weight hyperbolic logarithm was used for the research of 20 different quasihierarchic networks, and the received values results represented set facts.

Conclusions

The notion of the quasihierarchic social character networks is introduced and connections character in such networks is researched in this work.

The efficiency research of basic and modified HITS algorithms for node ranking of quasihierarchic

social character networks was conducted in comparison to PageRank algorithm in the given network.

When used practically, it is shown that modified algorithm provides results corresponding with real social relations, and nodes authorship indexes - their hierarchic importance inter se.

The received algorithm was used for research of 20 different social networks and, in the process of work, showed pretty exact results, which represented set facts.

Modified HITS algorithm is effective for social network research in the process of cyberwar and for network node ranking in general.

REFERENCES

1. Lande, D.V and Nechaev, A.O. (2015), "Algorithm for ranking of nodes of quasi-hierarchical networks of social character", *Problems of informatization and management: a collection of scientific works*, No. 1 (49), NAU, Kyiv, pp. 46-50.
2. Lande, D.V., Snarsky, A.A and Bezsudnov, I.V. (2009), *Internet: Navigation in complex networks: models and algorithms*, Librokom (Editorial URSS), Moscow, 264 p.
3. Sulema, O.K. and Lande, D.V. (2015), "Finding the optimal hierarchy in the quasi-hierarchical graph according to the criteria of centrality", *Registration, storage and processing of data*, Vol. 17, No. 4, pp. 3-10.
4. Bargh, J.A., Chen, M. and Burrows, L. (1996), "Automaticity of Social Behavior: Direct Effects of Trait Construct and Stereotype Activation on Action", *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 71, No. 2, pp. 230-244.
5. Laura, L.S. and Gianluigi, Me. (2017), "Searching the Web for illegal content: the anatomy of a semantic search engine", *Soft Computing*, pp. 1245-1252.
6. Liu, Y.Y., Jean-Jacques Slotine, J.J. and Barabasi, A.L. (2012), "Control centrality and hierarchical structure in complex networks", *PLOS ONE*, Vol. 7, No. 9, pp. 1-7.
7. Cohen, David (2002), "All the World's a Net", *Newscientist*, Vol. 174, No. 2338, April 13, 2002, pp. 24-29.
8. Amy, N. Langville and Carl, D. Meyer, (2013), "Google's PageRank and Beyond: The Science of Search Engine Rankings", *PRINCETON UNIVERSITY PRESS*, pp. 115-121.
9. Scott, John (2017), "Social network analysis", CPI Group(UK) LTD, Croydon, 4th edition, pp. 57-89.
10. Malcolm, R. Parks, (2016), "Personal relationship and personal network", *Malcolm R. Parks*, New York, 1st edition, pp. 2-14.
11. Stephen, P. Borgatti, Martin, G. Everett and Jeffrev, C Johnson (2018), "Analyzing Social Networks", *C&M Digital (P) Ltd, Crennai, India, Printed UK*, pp. 13-25.

Надійшла (received) 24.04.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 11.07.2018

Ранжування мережі соціального характеру із врахуванням логарифмічної функції її зв'язків

А. М. Соболев, Д. В. Ланде

Соціальні мережі є основою всіх взаємодій між учасниками (як правило, людьми), які відбуваються в процесі передачі інформації. Останнім часом цей термін стає все більш популярним, але навряд чи хтось може уявити, наскільки сильно він оточує нас. Мережі соціального характеру зображають за допомогою графів та зв'язків між вузлами, що відображають реальну взаємодію. Для ранжування вузлів в даних мережах необхідно провести детальний аналіз мережі, оцінити отримані результати за всіма заданими критеріями та виділити найбільш впливові вузли. Існуючі алгоритми ранжування переважно оцінюють все в цілому, що не дозволяє чітко визначити впливовість вузлів між собою. У даній статті приводиться аналіз отриманих результатів роботи відомих алгоритмів ранжування вузлів (HITS, PageRank) та порівнюються отримані дані з експертною оцінкою мережі. Велика кількість зв'язків між вузлами та їх різноманітна конфігурація в більшості випадків не дозволяє використовувати алгоритми ранжування базового типу, оскільки нехтуючи начебто несуттєвими зв'язками, виникають хибні результати. Базовий алгоритм HITS був модифікований для ефективного дослідження квазіієрархічних мереж. Показано, що отриманий алгоритм надає у ряді випадків результати, які відповідають реальним соціальним відношенням між суб'єктами, а показники авторства вузлів – попередньо наданим соціальним ролям. Отриманий алгоритм дозволяє оцінювати та виявляти найбільш релевантні вузли в мережах соціального характеру. Він може бути використаний у різних сферах, де формуються соціальні мережі.

Ключові слова: квазіієрархічні мережі соціального характеру; суб'єкти мережі; алгоритм ранжування; алгоритм HITS; алгоритм PageRank; рейтинг вузла; F-міра; експертна оцінка.

Ранжирование сети социального характера с учетом логарифмической функции ее связей

А. М. Соболев, Д. В. Ланде

Социальные сети являются основой всех взаимодействий между участниками (как правило, людьми), которые происходят в процессе передачи информации. В последнее время это определение становится все более популярным, но вряд ли кто-то может представить, насколько сильно он окружает нас. Сети социального характера изображают с помощью графов и связей между узлами, отражающими реальное взаимодействие. Для ранжирования узлов в данных сетях необходимо провести детальный анализ сети, оценить полученные результаты по всем заданным критериям и выделить наиболее влиятельные узлы. Существующие алгоритмы ранжирования преимущественно оценивают все в целом, что не позволяет четко определить влиятельность узлов между собой. В данной статье приводится анализ полученных результатов работы известных алгоритмов ранжирования узлов (HITS, PageRank) и сравниваются полученные данные экспертной оценке сети. Большое количество связей между узлами и их разнообразная конфигурация в большинстве случаев не позволяет использовать алгоритмы ранжирования базового типа, поскольку пренебрегая якобы незначительными связями, возникают ложные результаты. Базовый алгоритм HITS был модифицирован для эффективного исследования квазиієрархічних сетей. Показано, что полученный алгоритм предоставляет в ряде случаев результаты, которые соответствуют реальным социальным отношениям между субъектами, а показатели авторства узлов - предварительно предоставленным социальным ролям. Полученный алгоритм позволяет оценивать и выявлять наиболее релевантные узлы в сетях социального характера. Он может быть использован в различных сферах, где формируются социальные сети.

Ключевые слова: квазиієрархіческие сети социального характера; субъекты сети; алгоритм ранжирования; алгоритм HITS; алгоритм PageRank; рейтинг узла; F-мера; экспертная оценка.

M. Tiurnikov¹, A. Shyshatskyi², S. Mikus³, A. Mishchenko⁴

¹ Military unit A0106, Kyiv, Ukraine

² Central research Institute of weapons and military equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³ Ivan Chernyakhovsky National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

⁴ Military institute of telecommunications and informatization. Kyiv, Ukraine

GENERALIZED INDICATOR OF THE EFFECTIVENESS EVALUATION OF MILITARY RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS

Modern military radiocommunication systems are working in the difficult conditions due to the shortage of radio frequency resources, limited computing resources and the influence of the enemy radio-electronic suppression devices. One of the ways to increase the noise immunity of military radiocommunication systems is to develop effective indicators, algorithms and methods for assessing the state of military radiocommunication systems. Nowadays, a large number of indicators for evaluating their effectiveness have been developed to evaluate military radiosystems, but their application is due to a number of limitations, that indicators with high precision are generally not used due to their high computational complexity, and those indicators having an acceptable computational complexity have low accuracy of evaluation. Therefore, in order to increase the protection of the security of military radio communication systems in the article, the authors developed a generalized indicator of the evaluation of the effectiveness of military radiocommunication systems. During the research, the authors of the article used the basic provisions of the theory of communication, mathematical statistics, management theory and the theory of tampering. The generalized indicator of the evaluation of the effectiveness of military radiocommunication systems developed in the work, allows to increase the noise immunity of military radiocommunication systems by increasing the speed of their state assessment. The carried out estimation of efficiency of the developed indicator allows to assert about its raising on 15-22% efficiency in comparison with classical indices of power and spectral efficiency of systems of military radio communication. The practical significance of the research is the possibility of using the proposed generalized indicator of the evaluation of effectiveness in developing new and modernizing existing military radiocommunication facilities (radio monitoring centers).

Keywords: noise immunity; evaluation; radiocommunication systems; radioelectronic suppression; radiocommunication facilities.

Introduction

While designing adaptive military radio systems, depending on their purpose, the task of optimizing one of the indicators of efficiency under the established restrictions to other.

The development and implementation of adaptive methods of information exchange requires the establishment of effective procedures for monitoring and forecasting the state of the radio communication system.

To solve this problem, it is necessary to involve methods of modern mathematical statistics, in particular, to check statistical hypotheses in relation to indicators (groups of indicators), that characterize the state of the radio communication system.

To evaluate radio communication systems, many indicators have developed for evaluating their effectiveness, but their application is made due to a number of limitations:

indicators with high precision are generally not used due to their high computational complexity;

indicators with acceptable computational complexity have poor accuracy.

This research is dedicated to the decision of the mentioned compromise.

Proceeding from the foregoing, *the purpose of this article* is to develop a generalized indicator of the evaluation of the effectiveness of military radiocommunication systems.

Presentation of the main material

In the theory of communication networks issues of assessing the effectiveness of the establishment and operation of communication networks has always been a great importance.

Undoubtedly, the improvement and development of communication networks and network technologies are conditioned not only by the growth of user necessity of communication services, but also by the growth of quality service requirements, as well as the desire to increase their efficiency. Nowadays, a variety of approaches to the selection of indicators, used to assess communication networks.

The channel bandwidth utilization rate is proposed to estimate the information efficiency of a one-channel communication system and to determine the channel utilization rate coefficient η , which is defined as the ratio of the transmission rate of V to the bandwidth of the communication channel C : $\eta = V / C$ [5]. This parameter is proposed to be used to evaluate the information efficiency of the multichannel communication system. It's main disadvantage is that it does not give a complete description of the channels of communication with memory, since it determines only it's high-speed characteristics.

The parameter proposed in [6] is used only to evaluate the packet switching network. It determines the total speed of sending messages to users. It is considered, that it is like the performance of the

communication network P . This indicator does not reveal all the properties of the data transmission process in the communication network, but only determines the speed of data transmission by the communication system. It is not generalized, since it does not take into account the dynamic properties of the communication network, characterized by a delay in the transmission of information within it and the accuracy of data transmission.

The power factor of the communication network was introduced in [7, 8] for use in controlling the flow in the communication network and connects the bandwidth $\gamma(\lambda)$ and the average network latency T_e by the ratio:

$$P = \frac{\gamma(\lambda)}{T},$$

where λ – the input speed of data packets into the network;

$\gamma = \gamma(\lambda)$ – traffic transmitted by the network;

T – average time delay.

The maximum traffic γ_0 , that can be transmitted by the network is the bandwidth. The imbalance of communication network productivity and the average time delay T is achieved at the operating point

$$\lambda^* = \gamma_0 / 2,$$

which provides the maximum value of power P . This indicator does not fully reveal the properties of the data transmission process in the communication network, but only determines the speed of data transmission by the communication system and the average delivery time. It is not generalized, since it does not take into account the properties of the noise immunity of the communication network, characterized by the accuracy of data transmission.

The indicator of the cybernetic power of the communication network is proposed for assessing its information capabilities [8] and obtained by multiplying the number of N messages contained in the communication system in the process of storage and transmission within the system to the performance of the communications network G , averaged for a given interval of time[^]

$$T : KW = N^*G|T.$$

If the parameter is considered as a guaranteed message transmission time, N determines the maximum number of messages, that may be in the communication network. The KW indicator allows you to evaluate the limitations of the communication network with the transfer of user traffic, reflecting its storage properties in the process of transmission, routing and performance.

The KW cybernetic power parameter will be used to evaluate the information efficiency of the communication systems by comparing its performance with the limitations of message transmission. However, an indirect assessment of the main indicator of the data transmission process - the

average delivery time and does not take into account the properties of the noise immunity of the radio communication system, which is characterized by the accuracy of data transmission.

Taking into account the analysis carried out, it is suggested to use the indicator of the estimation of the efficiency of the communication network a generalized indicator, which is the volume of the radio communication system W , which is determined in the metric space F by partial performance performance indicators, such as performance P , velocity V , and accuracy of information transmission T .

The accuracy of T is numerically equal to the number of messages taken per unit time without taking into account missed messages, lost packets in the network, and also packets not delivered, that is

$$T = \Pi - \Delta\Pi,$$

where $\Delta\Pi$ is the total number of messages that are not delivered accurately and measured by messages/second.

The class of performance indicators is highlighted on the basis of the classification of network indicators [10], according to which the main classes of communication network indicators are defined, such as:

- class A - network quality performance indicators,
- class B - class of performance stability indicators;
- class E - class of indicators efficiency.

In separate classes, indicators are determined, that determine the values of quality indicators functioning of the communication network - class C ; performance indicators, that determine the stability of performance indicators - Class D :

Performance indicators, that affect performance - Class F .

In this case, the class A includes performance P , speed V and accuracy of information transfer T , which is in accordance with the provisions of recommendation MC9 I.350.

These performance indicators are interrelated, and the value of one or two of them is not enough to evaluate the network.

The space of the quality performance indicators F is metric: for some system of its subsets, a mapping is introduced

$$W : H_{ci} \rightarrow R$$

such that, where W_i is the non-negative accountable additive function, that determines the volume in (messages/sec)³ and represents the measure in the network of network performance indicators.

Each pair

$$H_{ci}, H_{cj} \in \Phi$$

is associated with a real number

$$\rho(H_{ci}, H_{cj}),$$

representing the distance between elements of space satisfying the conditions of the measure theory.

The probability of timely delivery Q is an integral indicator of the quality of functioning and characterizes

the performance of the communication system (average flow intensity served λ_{served} for a given average intensity of the input stream $\lambda_{incoming}$), when providing user requirements over time and accuracy of transmission.

The performance indicators are components of the vector F in space R^3 . The process of functioning

$$\Phi = (\Pi, T_{availability}^{-1}, T)$$

of the communication system and any of the elements can take place only within the limits of their loading abilities

$$H_c = \Pi_{max}, V_{max}, T_{max},$$

thus

$$\Phi \subset H_c.$$

The space F is metric: for some system of its subsets, a mapping is introduced

$$W : H_{ci} \rightarrow R,$$

such that

$$W_i = \Pi_i V_i T_i -$$

a measure, that represents the volume of the network.

The load capacity exists for any element of the communication network, its sites and the network as whole. It can be calculated analytically, obtained experimentally by measuring or collecting and processing statistical data.

Indicators with one sense, entering into the network and coming out of the network messages streams are the intensity of the flow, the intensity of aging and authenticity.

Construction of the metric space allows us to calculate the efficiency of the communication system and on its basis conduct an objective comparative analysis of communication networks and their elements. We will evaluate the effectiveness of the developed generalized indicator. This indicator was compared with the energy efficiency of military radiocommunication systems and the frequency effectiveness of military radio communication systems (Fig. 1).

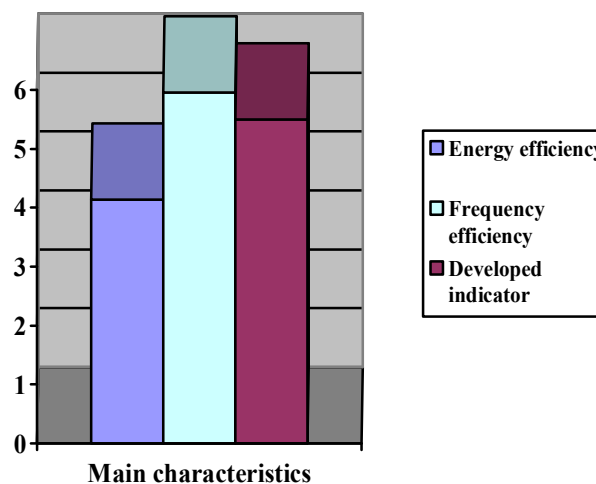


Fig. 1. Comparative analysis of the effectiveness of the proposed indicator with known indicators

Comparative analysis suggests, that the proposed generalized indicator of the effectiveness of military radio communication systems can get a winning of 15-22% depending on the signal-interference situation.

Conclusion from this explosion

In the course of the research, a generalized indicator of the effectiveness of military radiocommunication systems was developed.

An assessment of effectiveness of the developed indicator with the known indicators, during which it was

established, that this indicator allows obtaining a generalized assessment of the state of the military radiocommunication system, which is a logical generalization of the energy and frequency effectiveness of the evaluation of military radiocommunication systems.

The gain from the application of the proposed indicator is estimated at 15-22%, depending on the signal-interference situation.

Directions of further research will be directed at the development of methods for increasing the noise immunity of military radiocommunication systems.

REFERENCES

1. Shyshatskiy, A.V., Bashkirov, O.M. and Kostina, O.M. (2015), "Development of integrated systems and data for Armed Forces", *Arms and military equipment*, No. 1(5), pp. 35-40, available at: <http://journals.uran.ua/index.php/2414-0651/issue/view/1%285%29%202015> (last accessed March 15, 2018).

2. Kuvshinov, O.V., Shyshatskiy, A.V., Lutov, V.V. and Zhuk, O.G. (2017), "Analysis of ways to increase the secrecy of broadband systems of military radiocommunication", *Collection of scientific works of Kharkiv National Air Force University*, No. 1, pp. 24-28. available at: <http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/17488> (last accessed March 15, 2018).
3. Zyuko, A.G., Klyuvsky, D.D., Nazarov, M.V. and Fink, L.M. (1986), *Theory of signal transmission*, Radio and Communications, Moscow, 288 p.
4. Schwartz, M (1992), *Communication networks: protocols, modeling and analysis*: 2 hours Part 1: Translate from English, Nauka, Moscow, 302 p.
5. McLaughlin, K., Sezer, S., Blume, H., Yang, X., Kupzog, F. and Noll, T. (2008), "A scalable packet sorting circuit for high-speed WFQ packet scheduling", *IEEE Transactions on VLSI Systems*, No. 16 (7), pp. 781–791.
6. Bennett, J.C.R. and Zhang, H. (1996), "W2FQ: Worst-case fair weighted fair queueing", *Proceedings of the IEEE INFOCOM*, pp. 120–128.
7. Parekh, A.K. and Gallager, R.G. (1994), "A generalized processor sharing approach to flow control in integrated services networks. The multiple node case", *IEEE/ACM Transactions On Networking*, Vol. 2, No. 2, pp. 137–150.
8. Sundareshan, M.K. (1979), "Decentral and multilevel controllability of large-scale systems", *Int. J. Control*, Vol. 30, No. 1, pp. 71–80.

Надійшла (received) 28.04.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 11.07.2018

Узагальнений показник оцінки ефективності систем військового радіозв'язку

М. М. Тюрніков, А. В. Шишацький, С. А. Микусь, А. О. Міщенко

Сучасні системи військового радіозв'язку функціонують в складних умовах, що обумовлено дефіцитом радіочастотного ресурсу, обмеженими обчислювальними ресурсами та впливом засобів радіоелектронного подавлення супротивника. Одним зі шляхів підвищення завадозахищеності військових систем радіозв'язку є розробка ефективних показників, алгоритмів, методів та методик оцінювання стану систем військового радіозв'язку. На даний час для оцінки систем військового радіозв'язку розроблено безліч показників оцінки їх ефективності, проте їх застосування обумовлено рядом обмежень, яка полягає в тому, що показники, що мають високу точність як правило не використовуються в зв'язку з високою їх обчислювальною складністю, а ті показники, що мають прийнятну обчислювальну складність мають низьку точність оцінювання. Тому з метою підвищення завадозахищеності систем військового радіозв'язку в зазначеній статті авторами проведено розробку узагальненого показника оцінки ефективності систем військового радіозв'язку. Під час проведення дослідження авторами статті були використані основні положення теорії зв'язку, математичної статистики, теорії управління та теорії завадозахищеності. Розроблений в роботі узагальнений показник оцінки ефективності систем військового радіозв'язку дозволяє підвищити завадозахищеність систем військового радіозв'язку за рахунок збільшення швидкості оцінювання їх стану. Проведена оцінка ефективності розробленого показника дозволяє стверджувати про його підвищену на 15-22 % ефективність у порівнянні з класичними показниками енергетичної та спектральної ефективності систем військового радіозв'язку. Практична значимість проведеного дослідження полягає у можливості використання запропонованого узагальненого показника оцінки ефективності під час розробки нових та модернізації існуючих засобів військового радіозв'язку (центрах радіомоніторингу).

Ключові слова: завадозахищеність; оцінка; система радіозв'язку; радіоелектронне подавлення; засоби радіозв'язку.

Обобщенный показатель оценки эффективности систем военного радиосвязи

М. М. Тюрников, А. В. Шишацкий, С. А. Микусь, А. А. Мищенко

Современные системы военной радиосвязи функционируют в сложных условиях, что обусловлено дефицитом радиочастотного ресурса, ограниченными вычислительными ресурсами и воздействием средств радиоэлектронного подавления противника. Одним из путей повышения помехозащищенности военных систем радиосвязи является разработка эффективных показателей, алгоритмов, методов и методик оценки состояния систем военной радиосвязи. В настоящее время для оценки систем военной радиосвязи разработано множество показателей оценки эффективности, однако их применение обусловлено рядом ограничений, заключающиеся в том, что показатели, которые имеют высокую точность обычно не используются в связи с высокой их вычислительной сложностью, а те показатели, имеющие приемлемую вычислительную сложность, имеют низкую точность оценки. Поэтому с целью повышения помехозащищенности систем военной радиосвязи в указанной статье авторами проведена разработка обобщенного показателя оценки эффективности систем военной радиосвязи. Во время проведения исследования авторами были использованы основные положения теории связи, математической статистики, теории управления и теории помехозащищенности. Разработанный в работе обобщенный показатель оценки эффективности систем военной радиосвязи позволяет повысить помехозащищенность систем военной радиосвязи за счет увеличения скорости оценки их состояния. Проведенная оценка эффективности разработанного показателя позволяет утверждать о его повышенной на 15-22% эффективности по сравнению с традиционными показателями энергетической и спектральной эффективности систем военной радиосвязи. Практическая значимость проведенного исследования заключается в возможности использования предложенного обобщенного показателя оценки эффективности при разработке новых и модернизации существующих средств военной радиосвязи (центрах радиомониторинга).

Ключевые слова: помехозащищенность; оценка; система радиосвязи; радиоэлектронное подавление; средства радиосвязи.

Methods of information systems protection

УДК 004. 056:004.738.5(045)

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.19

Г. В. Шуклін, О. В. Барабаш

Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна

МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ІНТЕНСИВНОСТІ КІБЕРНЕТИЧНИХ АТАК В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОННИХ ТОРГІВ НА ФОНДОВОМУ РИНКУ

Метою статті є адаптація існуючих математичних моделей інтенсивності кібернетичних атак для використання в системі інформаційної безпеки і фізичного захисту електронних торговельних майданчиків на фондовому ринку до сучасних умов, а також умов прогнозування. **Результати.** Виявлено, що моделювання залежності потоку зовнішніх кібернетичних атак на електронні торговельні майданчики фондового ринку, може розглядатись як послідовність почергових стрибків і падінь, що свідчить про коливальну природу процесу потоку атак. Обґрунтовано, що система кібернетичного захисту електронних торговельних майданчиків фондових ринків характеризується часом запізнення. Це створює передумови для порушення стійкості коливань. Результати досліджень носять прикладний характер і можуть бути використані для проведення експериментів і прогнозування значень параметрів, які характеризують кібернетичні загрози, що направлені на електронні торговельні майданчики фондових ринків з метою їх запобігання та превентивного забезпечення інформаційної безпеки сучасних технологій електронних торгів і взаєморозрахунків. Залежності, які виявлені в процесі моделювання, адаптовані до умов здійснення електронних торгів і взаєморозрахунків на фондових ринках і враховують фактори протидії кібернетичним загрозам, які пов'язані з часом запізнення. Вперше показано, що існує можливість будувати залежності інтенсивності кібернетичних атак за допомогою лінійних диференціальних рівнянь з запізненням, направлених на інформаційно-телекомунікаційні засоби інформаційної безпеки кібернетичного простору фондового ринку. Новий підхід дає можливість здійснювати порушення стійкості коливального процесу «хижак – жертва» завдяки регулюванню часу запізнення і при цьому визначати параметри, які впливають на запас стійкості. Отримані результати дають можливість будувати функціональну залежність інтенсивності кібернетичних атак від часу. Це дає можливість своєчасно здійснювати необхідні дії по інформаційному захисту кібернетичного простору фондового ринку.

Ключові слова: кібернетична атака; кібернетичний простір; час запізнення; інтенсивність атак; фондовий ринок.

Вступ

Постановка завдання. Фондовий ринок є однією з складових економіки держави і відіграє суттєву роль в залученні інвестицій. Створення віртуальних валют і електронних торговельних майданчиків призвело до зацікавленості кібернетичних злодіїв атакувати інформаційно-телекомунікаційні системи фондового ринку з метою присвоєння активів і коштів третіх осіб, що є учасниками ринку. Тому задача моделювання інтенсивності потоків кібернетичних атак на кібернетичний простір фондового ринку є актуальною і потребує ретельного аналізу.

Формальна постановка завдання полягає в наступному. Необхідно, проаналізувавши існуючі функціональні залежності атак (сигнальних потоків), побудувати диференціальне рівняння, яке моделює їх динаміку і враховує існуючі недоліки цих залежностей.

Аналіз літератури. Аналіз робіт, на які спирається наші дослідження дає можливість стверджувати, що моделювання змін з часом кількості кібернетичних атак при розгляданні задач інформаційної безпеки, суттєво залежить від специфіки об'єкта, кібернетичний простір якого захищається [1-7]. Однак, в багатьох випадках, в прикладній інформатиці для моделювання потоку кібернетичних атак, таких як «програмні віруси», до недавнього часу була математична модель, яка здійснювала опис процесу

зміни інтенсивності $x(t)$ на основі аналітичної залежності Ферхюльста [1]:

$$x_i(t) = \frac{K_i}{1 + \frac{K_i - x_i^0}{x_i^0} e^{-r_i^m(t-t_0)}}, \quad (1)$$

де K_i – рівень насиченості інтенсивності кібернетичних атак,

r_i^m – параметр крутизни початкового зростання інтенсивності кібернетичних атак,

t_0 – початковий момент часу,

x_i^0 – початкове значення кібернетичних атак.

В роботі [1] моделювання процесів інтенсивності кібернетичних атак, які направлені на атомні електростанції, запропоновано використання рівняння Хатчисона, як модифікацію моделей, які раніше були використані. В це рівняння входить час запізнення τ кількості атак на об'єкт, що захищається, і має такий вигляд

$$\frac{dx(t)}{dt} = r_i^m \left(1 - \frac{x(t-\tau)}{K_i} \right) x(t). \quad (2)$$

Якщо в формулі (1), початковий моменту часу t_0 замінити на час запізнення τ , то моделі (1) і (2) можна використовувати для оцінки ефективності

системи фізичного захисту інформаційних систем, які посилюють моделі диференціально-ігрового підходу, які запропоновані в [2], так як вони враховують реальні умови їх роботи, з урахуванням запізнення технологічно важливих подій [1].

Основний матеріал

При аналізі статистики кібернетичних атак на електронні торговельні майданчики фондового ринку було встановлено, що інтенсивність таких атак можна описати лінійним диференціальним рівнянням з запізненням, яке має такий вигляд:

$$\frac{dx(t)}{dt} = rx(t) + \frac{r}{K} x_0 x(t - \tau), \quad (3)$$

де r – параметр крутизни початкового зростання кількості атак,

K – насиченість кібернетичних атак,

x_0 – початкове значення кібернетичних атак.

При аналізі атак протягом 2018 року, було встановлено, що для Українського фондового ринку r приймало значення приблизно 2, а насиченість кібернетичних атак $K = 10$.

В роботі [12] було запропоновано метод розв'язування рівняння (3) і його розв'язок $x_\tau(t)$, який задовольняє одиничним початковим умовам, має таке представлення

$$x_\tau(t) = \begin{cases} 1 + \left\{ e^{rt} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r} \right] - \frac{1}{r} \right\} \left(r + \frac{r}{K} \right), & 0 \leq t < \tau; \\ 1 + \left\{ e^{rt} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r} \right] - \frac{1}{r} \right\} \left(r + \frac{r}{K} \right) + \\ + \left\{ e^{r(t-\tau)} \left[\frac{(t-\tau)}{1!r} - \frac{1}{r^2} \right] + \frac{1}{r^2} \right\} \times \\ \times \frac{r}{K} \left(r + \frac{r}{K} \right), & \tau \leq t < 2\tau; \\ \dots \\ 1 + \left\{ e^{rt} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{r} \right] - \frac{1}{r} \right\} \left(r + \frac{r}{K} \right) + \\ + \left\{ e^{r(t-\tau)} \left[\frac{(t-\tau)}{1!r} - \frac{1}{r^2} \right] + \frac{1}{r^2} \right\} \times \\ \times \frac{r}{K} \left(r + \frac{r}{K} \right) + \dots + \\ + \left\{ e^{r(t-n\tau)} \left[\frac{(t-n\tau)^n}{n!r} - \frac{(t-n\tau)^{n-1}}{(n-1)!r^2} + \right. \right. \\ \left. \left. + \dots + (-1)^n \frac{1}{r^{n+1}} \right] + (-1)^{n+1} \frac{1}{r^{n+1}} \right\} \times \\ \times \frac{r^n}{K} \left(r + \frac{r}{K} \right), & (n-1) \leq t < n\tau. \end{cases}$$

Останнє представлення дає можливість отримувати розв'язок рівняння (3) на проміжках часу

$$[(n-1)\tau; n\tau).$$

Це означає, що маючи інформацію про інтенсивність атак за попередній проміжок часу, ми можемо здійснити прогноз про очікувану інтенсивність загроз на наступний проміжок часу.

Ще варто відмітити, що інтенсивність кібернетичних атак мають і коливальну природу. Це означає, що крива $x_\tau(t)$, яка є розв'язком рівняння (3) має точки перегину.

Тобто, взявши другу похідну, ми можемо визначати період часу квантування, коли відбувається зміна знаку другої похідної функції $x_\tau(t)$. Це дає можливість вибрати час запізнення τ таким чином, щоб здійснювалось порушення стійкості коливань інтенсивності кібернетичних атак.

Порушення стійкості призведе до можливості створювати відповідні дії для забезпечення більш стійкої системи захисту електронних торговельних майданчиків.

На рис. 1 зображено фазову траєкторію розв'язку рівняння (3) інтенсивності кібернетичних атак на електронний торговельний майданчик Української фондової біржі, які спостерігались протягом 2018 року.

Рисунок показує, що завдяки стабільній системі захисту інформаційно-телекомунікаційної системи Української фондової біржі, була порушена стійкість коливань інтенсивності кібернетичних атак на електронний торговельний майданчик, однак все одне інтенсивність атак була достатньо високою.

В результаті проведених якісних і кількісних експериментів виявлено, що інтенсивність кібернетичних атак на кібернетичний інформаційний простір фондового ринку України достатньо великий, що свідчить про присутність суб'єктів, які зацікавлені в організації загроз інформаційній безпеці електронних торговельних майданчиків.

Функціональна залежність $x_\tau(t)$, яка є розв'язком рівняння (3) враховує не тільки існуючі загрози інформаційній безпеці кібернетичного простору фондового ринку, але дає інформацію про можливість прогнозу моменту часу з якого інтенсивність загроз може збільшуватись або зменшуватись. Це є важливим, так як, можна наперед володіти інформацією про те, коли можна мати додатковий час на вдосконалення інформаційно-телекомунікаційної системи захисту електронних торговельних майданчиків для протидії зовнішнім загрозам.

Висновки

Запропоновано підхід до розв'язування завдання вибору адекватної моделі функціональної залежності інтенсивності кібернетичних атак на інформаційно-телекомунікаційні системи інформаційної безпеки фондового ринку.

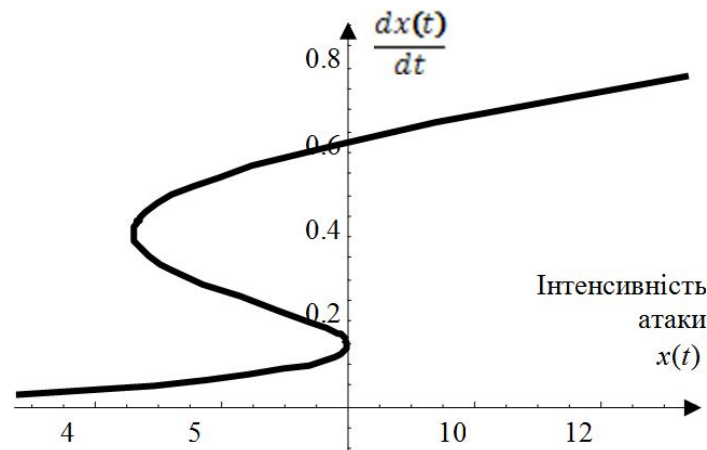


Рис. 1. Фазова траєкторія розв'язку рівняння (3) інтенсивності кібернетичних атак

Рекомендовані в використанні функціональні залежності вперше адаптовані до умов здійснення торгів і взаєморозрахунків на електронних майданчиках фондового ринку.

Враховуються фактори протидії загрозам, які пов'язані з часом запізнення.

Визначені нові шляхи вдосконалення існуючих математичних моделей для їх практичного за-

стосування в забезпеченні інформаційної безпеки фондового ринку. Наукова новизна полягає в можливості будувати функціональні залежності інтенсивності кібернетичних атак, направлених на електронні торговельні майданчики фондового ринку з урахуванням запізнення, яке в свою чергу, впливає на порушення стійкості коливань інтенсивності атак.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Погосов А. Ю. Модели прикладной информатики учёта кинетики кибернетических угроз в системе физической защиты АЭС / А. Ю. Погосов, О. В. Деревянко // Радиоэлектроника, информатика, управление. – 2017. – № 2. – С. 53-60.
2. Гришук Р. В. Дифференціально-ігровий метод оцінювання ефективності систем захисту інформації / Р. В. Гришук // Сучасний захист інформації. – 2012. – № 1. – С/ 40-44.
3. Гришук Р. В. Використання диференціальних ігор для оптимізації управління в системах захисту інформації / Р. В. Гришук, В. О. Хорошко, Ю. Є. Хохлачова // Сучасний захист інформації. – 2012. – № 2. – С. 21-26.
4. Хорошко В. О. Алгоритм виявлення атак для засобів моніторингу інформації / В. О. Хорошко, О. М. Чернишев // Сучасний захист інформації. – 2012. – № 1. – С. 49-56.
5. Гришук Р.В. Постановка проблеми забезпечення інформаційної безпеки держави у соціальних інтернет-сервісах / Р. В. Гришук, К. В. Молодецька – Гринчук // Сучасний захист інформації. – 2018. – № 1 (33). – С. 43-53.
6. Гришук Р. В. Основи кібернетичної безпеки: монографія / Р. В. Гришук, Ю. Г. Даник; під заг. ред. проф. Ю.Г. Даника. – Житомир: ЖВІ ім. С.П.Корольова, 2016. – 636 с.
7. Борсуковский В. Ю. Прикладні аспекти захисту інформації в сучасних умовах / Ю. В. Борсуковский, В. Ю. Борсуковська // Сучасний захист інформації. – 2018. – № 2. – С. 6-11.
8. The Open Group Releases Maturity Model for Information Security Management, SAN FRANCISCO. April 11, 2011. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.opengroup.org/>.
9. Computer security resource center [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://csrc.nist.gov/Publications>.
10. The Community Cyber Security Maturity Model [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pdfs.semanticscholar.org/c76f/bfde67b7afcbac58ee7f2323fa9746d32f80.pdf>.
11. Zybin S. The one method to decision making support for formation of complex security information programs / S. Zybin // Сучасний захист інформації. – 2017. – № 1. – С. 73-78.
12. Khusainov D. Ya. On a Representation of Solutions of Linear Delay Systems / D. Ya. Khusainov, A.F. Ivanov, G.V. Shuklin // Differential Equations. – 2005. – Vol. 41, №7. – P. 1054-1058.

REFERENCES

1. Pogosov, O.Yu. and Derevianko, O.V. (2017), "Modeli prikladnoy informatiki uchota kinetiki kiberneticheskikh ugroz v sistemi fizicheskoy zashity AES", *Radioelectronics, computer science, control*, No. 2, pp. 53-60.
2. Grishuk, R. (2012), "Differential-game method for evaluating the effectiveness of information security systems", *Modern information security*, No. 1, pp. 40-44.
3. Grishuk, R., Horoshko, V. and Hohlachova, Yu. (2012), "Use of differential games to optimize control in information security systems", *Modern information security*, No. 2, pp. 21-26.
4. Horoshko, V. and Chernishev, O. (2012), "An algorithm for detecting attacks for information monitoring tools", *Modern information security*, No. 1, pp. 49-56.
5. Grishuk, R.V. and Molodetska, K.V. (2018), "Resolving the problem of providing information security of state in social networking services", *Modern information security*, No. 1 (33), pp. 43-53.

6. Grishuk, R.V. and Danik, Yu.H. (2016), *Fundamental cyber security*, Zhytomyr Military Institute the name of S.P. Korolev, Zhytomyr, 636 p.
7. Borsukovskii, Y. and Borsukovska, V. (2018), "Applied aspects of protection of information in modern conditions", *Modern information security*, No. 2, pp. 6-11.
8. *The Open Group Releases Maturity Model for Information Security Management*, San Francisco, April 11, 2011, available at: <http://www.opengroup.org/> (last accessed on May 30, 2018).
9. *Computer security resource center*, available at: <http://csrc.nist.gov/Publications> (last accessed on May 30, 2018).
10. Gregory B. White (2007), *The Community Cyber Security Maturity Model*, available at: <http://pdfs.semanticscholar.org/c76f/bfde67b7afcbac58ee7f2323fa9746d32f80.pdf> (last accessed on May 30, 2018).
11. Zybin, S. (2017), "The one method to decision making support for formation of complex security information programs", *Modern information security*, No. 1, pp. 73-78.
12. Khusainov, D.Ya., Ivanov, A.F. and Shuklin G.V. (2005), "On a Representation of Solutions of Linear Delay Systems", *Differential Equations*, Vol. 41, No. 7, pp. 1054-1058.

Надійшла (received) 14.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 15.08.2018

Модель расчёта интенсивности кибернетических атак в системе электронных торгов на фондовом рынке

Г. В. Шуклин, О. В. Барабаш

Целью статьи является адаптация существующих математических моделей интенсивности кибернетических атак для использования их в системе информационной безопасности и физической защиты электронных торговых площадок на фондовом рынке в современных условиях, а также условий возможных прогнозов. **Результаты.** Установлено, что моделирование зависимости потока внешних кибернетических атак на электронные торговые площадки фондового рынка, можно рассматривать как последовательность поочерёдных скачков и падений, что свидетельствует о колебательной природе процесса потока атак. Обосновано, что система кибернетической безопасности электронных торговых платформ фондовых рынков характеризуется временем запаздывания. Это создаёт предпосылки для нарушения устойчивости колебаний. Результаты исследований носят прикладной характер и могут быть использованы для проведения экспериментов и прогнозирования значений параметров, которые характеризуют кибернетические атаки, которые направлены на электронные торговые площадки фондовых рынков с целью их устранения и превентивного обеспечения информационной безопасности современных технологий электронных торгов и взаиморасчётов. Зависимости, которые выявлены в процессе моделирования, адаптированы к условиям осуществления электронных торгов и взаиморасчётов на фондовых рынках и учитывают факторы противоборства кибернетическим атакам, которые связаны со временем запаздывания. Впервые показано, что существует возможность строить зависимости интенсивности кибернетических атак при помощи линейных дифференциальных уравнений с запаздыванием, направленных на информационно-телекоммуникационные средства информационной безопасности кибернетического пространства фондового рынка. Новый подход даёт возможность влиять на нарушение устойчивости колебательного процесса «хищник – жертва» посредством регулирования временем запаздывания и при этом определять параметры, которые влияют на запас устойчивости. Полученные результаты дают возможность строить функциональную зависимость интенсивности кибернетических атак от времени. Это даёт возможность своевременно осуществлять необходимые действия, направленные на информационную защиту кибернетического пространства фондового рынка.

Ключевые слова: кибернетическая атака; кибернетическое пространство; время запаздывания; интенсивность атак; фондовый рынок.

Model of cybernetic attacks intensity calculation in the electronic trading system on the stock market

G. Shuklin, O. Barabash

The purpose of the article is to adapt existing mathematical models of intensive cybernetic attacks for use in the information security system and physical protection of electronic trading platforms in the stock market in modern conditions, as well as conditions for possible forecasts. **Results.** It is established that the modeling of the dependence of the flow of external cybernetic attacks on the electronic trading platforms of the stock market can be regarded as a sequence of alternating jumps and falls, which indicates the vibrational nature of the process of attack flow. It is substantiated that the system of cybernetic security of electronic trading platforms of stock markets is characterized by delay time. This creates the prerequisites for disturbing the stability of oscillations. The results of the research are of an applied nature and can be used to conduct experiments and predict the values of the parameters that characterize cyber attacks that are aimed at the electronic trading platforms of stock markets in order to eliminate them and prevent the information security of modern electronic trading technologies and mutual settlements. The dependencies, which are revealed in the modeling process, are adapted to the conditions of electronic trading and mutual settlements in stock markets and take into account the factors of confrontation to cybernetic attacks that are associated with the delay time. It is shown for the first time that it is possible to construct the dependences of the intensity of cybernetic attacks using linear differential equations with delay directed at information and telecommunication means of information security of the cybernetic space of the stock market. The new approach makes it possible to influence the instability of the predator-prey oscillatory process by adjusting the delay time and at the same time to determine the parameters that affect the stability margin. The results obtained make it possible to construct a functional dependence of the intensity of cybernetic attacks on time. This makes it possible to timely implement the necessary actions aimed at information protection of the cybernetic space of the stock market.

Keywords: cybernetic attack; cybernetic space; delay time; intensity of attacks; stock market.

Applied problems of information systems operation

UDC 358.111; 355/359

doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.20

A. A. Aliev, A. A. Bayramov, E. N. Sabziev

War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

EFFECTIVENESS OF ARTILLERY SYSTEMS

The essence of the problem of artillery system effectiveness factors determination has been disclosed in the paper. On the base of the hypothesis of presentation possibility of effectiveness factors of artillery systems as linear combination of performance characteristics, the method of effectiveness factors calculation for the new artillery systems of the same category it has been offered. By this model using the effectiveness factors for the several artillery systems have been calculated, by compare of obtained data with their effectiveness factors, the adequacy of constructed mathematical model has been shown. At the same, with purpose of investigation of the "discrepancy" between the linear combination coefficients and the influence feature on effectiveness factor of relevant performance characteristic, the correlation between performance characteristics and the correlation between each performance characteristic and performance characteristic have been investigated, also Pirson's linear correlations coefficients have been calculated. The efficiency coefficient dependence on battle characteristics (artillery firepower, mobility, durability and applicability) and on the performance characteristics has been modelled. The "discrepancy" in the signs and the values of the performance characteristics coefficients has been explained by various impacts on the combat characteristics of artillery sets.

Keywords: artillery system; combat properties; performance characteristics; efficient factor; neural networks; least-squares method; linear correlation factor.

Introduction

The effectiveness of artillery systems is an integral characteristic of battle capabilities expressed by main functional futures based on the performance characteristics [1, p.4]. The effectiveness factors of artillery systems define a unit's battle potential, are initial data for calculation of the battle capabilities against enemy's armored machineries. These factors are presented in manuals' tables as known values. However, the list of presented artillery systems in these manuals is not full and there are only effectiveness factors of some artillery systems presented as examples in these manuals. It should be noted that in various references the same artillery system has a different value. In addition, there is a problem of effectiveness factors determination for the new obtained artillery systems, and a long time these effectiveness factors are impossible to get. On the other hand, these factor calculation methods indicated in these tables have not references. In spite of the calculation methods of effectiveness factors are offered in some references [1, 2, 3], the presence of some lacks of these methods do not allow to determine effectiveness factors of the new artillery systems adopted to armoury. There are some of them below:

- the calculated by various methods factors for the same artillery system are differed much;
- the formulas, graphs and tables used in these methods are not justified;
- these methods use such numerical coefficients (system reliability, probability of target hit etc.) which are not presented by producer as performance characteristic.

In addition, for calculation of the effectiveness factors of artillery systems the offered methods are mainly based on the expert's reports and the results of

stand experiments. For determination of effectiveness factors of the new artillery systems it is necessary to have many expert's reports and to carry out many experiments. In paper the dependence of effectiveness factors on the performance characteristics for the artillery systems has been investigated and for calculation of effectiveness factors of the new artillery systems of the same category the method has been offered.

Distinctive features of artillery systems' effectiveness

It is clear, that the value of effectiveness factor must be determined by the impact of arms performance characteristics on the combat properties [4, p.65]. Let us analyse of the main performance characteristics defining of the artillery system category from the point of view of impact on combat properties [5, p.92-95; 6, p.71-73]. "The fire power", "the mobility", "the durability" and "applicability" are considered as the main combat properties for artillery systems. In spite of that the purposes of all artillery systems are the same, they have various construction, fire and maneuver possibilities and battle applicability methods. Therefore, artillery systems can be divided into below subsystems: mortars, howitzers and cannons, volley fire rocket weapons (VFRW) and self-propelled artillery sets (SPAS). Taken for determination of combat effectiveness the performance characteristics of these subsystems weapons are different:

1) for mortars: calibre, maximum gunfire range, vertical and horizontal rotation angle of gun tube, weight of shell, fire rate, shell initial velocity, weight of ordnance, number of operating staff, ammunition equipment;

2) for howitzers and cannons: calibre, maximum gunfire range, rotation angle of gun tube, weight of

shell, fire rate, shell initial velocity, weight of ordnance, number of operating staff, ammunition equipment and size of ordnance;

3) volley fire rocket weapons: calibre, maximum gunfire range, rotation angle of gun tube, weight of shell, fire rate, weight of ordnance, number of operating staff, ammunition equipment, size of ordnance, number of tubes and maneuver possibilities;

4) self-propelled artillery sets: calibre, maximum gunfire range, rotation angle of gun tube, weight of shell, fire rate, weight of ordnance, number of operating staff, ammunition equipment, size of ordnance and movement possibilities.

Let us analyse above indicated performance characteristics:

- The calibre – the large shell (mine) calibre the large degree of fire destruction, it acts positively on the fire power, the measurement unit is *mm*.

- The maximum gunfire range – the large gunfire range the further destruction distance and the more hit of enemy targets, it acts positively on the fire power; also, the large gunfire range the low probability to hit own objects, it acts positively on the durability; the measurement unit is *m*.

- The rotation angle of gun tube – the large angle the less time of fire maneuver and of take aim, it acts positively on the fire power. The vertical rotation angle provides a shooting range and the horizontal one provides a broad battlefield of take aim; the measurement unit is *a degree*.

- The number of tube (for VFRW) – the more number the much volley intensity and the large bombardment area, it acts positively on the fire power; the measurement unit is *a piece*.

- The weight of shell (mine) – the large weight the large destruction degree of target, it acts positively on the fire power; the measurement unit is *kg*.

- The fire rate – the high rate the many affected targets in unit time, it acts positively on the fire power; the measurement unit is *1/min (shoot/min)*.

- The shell initial velocity – the high velocity the less dispersion angle of shells and the high shooting

accuracy and target hit probability, it acts positively on the fire power; the measurement unit is *m/san*.

- The weight of ordnance – the more weight the less maneuver possibilities, it acts negatively on the mobility and applicability; the measurement unit is *kg*.

- The size of ordnance – the large size the less maneuver possibilities on the battle field, it acts negatively on the mobility, the much revealing probability on the enemy part, it acts negatively on the durability; the measurement unit is *m³*.

- Number of operating staff – the more number the much probability revealing and hitting probability on the enemy part; if the ordnance is destroyed then the loss of staff is more, therefore it acts negatively on the durability. This impact is proportional to staff number.

- Ammunition equipment – the many equipment the more duration of uninterrupted fight activities on the battle field, it acts positively on the fire power and durability; the measurement unit is *a piece*.

- Movement possibility (for SPAS) – it acts positively on the movement on the battlefield. It is an integrated factor of the velocity movement and one fuelling determined of passed distance; the measurement unit is *km²/hour*.

In framework of study for determination of the effectiveness digital value of artillery systems let us adopt a hypothesis considered in [6]: *The effectiveness of artillery systems can be calculated as linear combination of above considered performance characteristics. The factors of this combination can be determined based on investigation of the correlation between known weapons' effectiveness and known performance characteristics.*

Information concerning artillery system's category has been taken from [2, p.76, p.80-81] (see tables 1 – 4, here: 0 – calibre (mm), 1 – maximum gunfire range (m), 2 – vertical rotation angle of tube (degree), 3 – horizontal rotation angle of tube (degree), 4 – shell weight (kg), 5 – fire rate (shoot/min), 6 – ordnance weight (kg), 7 – shell initial velocity (m/sec), 8 – staff number (men), 9 – ammunition equipment (piece), 10 – effectiveness factor).

Table 1 – Mortars performance characteristics

Mortars	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>i</i>	<i>x_{i0}</i>	<i>x_{i1}</i>	<i>x_{i2}</i>	<i>x_{i3}</i>	<i>x_{i4}</i>	<i>x_{i5}</i>	<i>x_{i6}</i>	<i>x_{i7}</i>	<i>x_{i8}</i>	<i>x_{i9}</i>	<i>E_i</i>
1. L9A1	51	800	85	4	1.02	8	6.27	106	1	120	18.00
2. M19	60	1830	85	4	1.46	30	10.5	156	1	120	26.61
3. UT-1	81.4	5900	81	5	3.2	15	71.2	250	3	120	98.07
4. NT-1	81.4	3800	81	5	4.2	20	58.85	250	3	120	87.02
5. E-44	81.4	5900	81	5	3.2	30	40.9	250	3	100	115.45
6. BM-38	82	3040	85	3	3.1	30	48	211	4	120	98.32
7. 2B9 automatic	82	4570	85	4	3.1	120	435	250	4	228	130.00
8. M30	106.7	5650	80	3	12	18	305	293	6	100	119.48
9. PM-37	120	5700	80	3	15.9	6	282	272	4	80	180.95
10. 2S12	120	7100	80	3	16	12	210	240	6	48	190.00
11. MT-13	160	5100	80	5	49	3	1170	245	6	40	185.00
12. M-240	240	9700	80	8	130.7	1	4230	245	5	40	197.77
13. 2B14-1	82	4020	85	4	3.1	24	42	232	4	120	85.55
14. M29	81	4730	80	3	3.1	30	48	223	4	100	98.12
15. MO-120	120	4200	80	4	16	15	94	238	3	80	150.95

Table 2 – Howitzers and cannons performance characteristics

Mortars	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	x_{i0}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	x_{i6}	x_{i7}	x_{i8}	x_{i9}	E_i
1. M1942/ZIS-3 cannon	76.2	13290	48	6.20	25	1116	14137	680	6	100	211.97
2. D-44 cannon	85	15650	48	9.54	15	1725	20488	793	5	120	138.93
3. Q.F. Mk-2 cannon	87.6	12250	25	11.34	5	1800	27718	532	6	100	130.47
4. MT-12 cannon	100	8200	26.5	5.65	14	3050	35820	1575	7	80	178.76
5. M101 howitzer	105	11270	58.5	14.97	10	2030	34 479	472	8	86	231.36
6. D30 howitzer	122	15400	218.5	21.76	8	3150	21461	690	6	80	191.6
7. M46 cannon	130	27150	48.75	33.40	6	7700	73283	930	9	80	249.48
8. M114 A2 howitzer	155	22000	58	43.88	4	7163	58999	684	11	60	344.51
9. M2 155/45 cannon	155	23220	63.5	42	4	12600	38892	853	11	60	306.03
10. TR (GIAT) cannon	155	24000	68.5	43.2	6	10750	56 760	810	7	50	540.38
11. M1 howitzer	155	23221	63.5	43.10	2	13860	97440	653	14	40	260.62
12. B-4M howitzer	203.2	17890	34	100	0.5	21900	85593	607	14	16	217.69
13. M101A1 howitzer	105	11270	58.5	14.97	10	2030	20 365	472.4	8	80	246.72
14. D20 howitzer/ cannon	152	17410	63	43.51	6	5650	50805	655	10	80	287.57
15. M198 howitzer	155	22000	61	43.88	4	7163	75786	684	11	60	346.64

Table 3 – VFRW performance characteristics

Mortars	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	x_{i0}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	x_{i6}	x_{i7}	x_{i8}	x_{i9}	E_i
1. Tip-63	107	8500	45	12	18	540	611	4368	5	150	178.69
2. LARS 1	110	14700	205	36	34	1325	17480	61893	3	300	923.89
3. LARS 1	110	19000	205	36	34	1325	17480	61893	3	300	1000.28
4. LARS-2	110	25000	205	36	34	1325	17480	61893	3	300	1106.77
5. MLRS (ATACMS)	240	35000	115	12	258.5	2700	24560	54226	3	315.25	757.98
6. SAKARYA	122	40000	137.5	40	65.9	1150	30000	71300	5	727.5	1516.76
7. BM-21	122	20750	113.5	40	66.4	1210	13700	54507	7	562.5	1187.94
8. BM-21	122	33000	113.5	40	66.4	1210	13700	54507	6	637.5	1345.41
9. RM-70	122	20500	111	40	66	1060	33700	63800	6	480	1033.60
10. BM-21	122.4	15000	117.5	36	66.4	1210	11500	42780	3	680	766.73
11. BM-21	122.4	30000	117.5	36	66.4	1210	11500	42780	3	680	1032.80
12. BM-21	122.4	20100	117.5	12	66.4	650	6000	33115	2	743.75	758.36
13. M-77 Oganj	128	21000	111	32	67.1	810	22000	62250	5	300	804.88
14. HADID-Noor	122	18000	110	40	45	1210	13700	71300	6	375	857.95
15. MLRS	240	40000	117.5	12	307	2700	24560	54226	5	315.25	1230.56

Table 4 – SPAS performance characteristics

Mortars	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i	x_{i0}	x_{i1}	x_{i2}	x_{i3}	x_{i4}	x_{i5}	x_{i6}	x_{i7}	x_{i8}	x_{i9}	E_i
1. M108 howitzer	105	11500	219	15.00	10	20900	68127	5	86	196	423.85
2. 2S1/M1974 howitzer	122	21900	216.5	21.76	8	22200	47175	4	40	305	471.75
3. DANA/M-77 howitzer	152	18700	149.5	43.56	9	29250	95418	5	60	592	628.01
4. 2S3/M1973 howitzer	152.4	18500	211.5	43.56	4	27500	83265	4	46	300	464.34
5. M44T howitzer	155	24700	65	43.50	4	32000	86657	8	30	341	635.38
6. MkF3 cannon	155	20050	50	43.54	3	17400	35274	8	56	180	586.89
7. M-109G howitzer	155	15100	220	43.54	4	28849	137390	6	28	192	302.63
8. PzH 2000 howitzer	155	40000	213.7	43.5	12	55300	138067	5	60	256	1004.5
9. ZUZANA howitzer	155	39600	96.7	43.5	6	28450	138039	4	40	600	820.30
10. M-107 cannon	175	32700	63.5	66.78	2	28200	130889	8	30	252	670.07
11. M-110 A2 howitzer	203	22900	63.5	92.53	1	28350	106164	5	8	287	606.00
12. 2S7/M-1975 howitzer	203	37500	45	110.0	2.5	46500	133949	7	8	300	896.16
13. 2S1/M1974 howitzer	122	15200	216.5	21.76	8	15700	47175	4	40	305	344.71
14. M44T howitzer	155	24000	65	43.50	4	29500	93555	8	30	350	587.72
15. 2S3/M1973 howitzer	152.4	24000	212	43.56	5	28000	83265	4	46	300	557.48

Mathematical model of effectiveness factor calculation

Thus, it is considered that effectiveness factors of artillery systems can be defined by linear combination

of the above presented performance characteristics, that is, this dependence will be constructed in shape of neural network [7]. Let us admit that the performance characteristics and effectiveness of N artillery systems are known. For simplicity, we number these arms as

$i = 1, 2, 3, \dots, N$. It should be noted that we shall use for calculations only data for the first 12 arms presented in tables 1, 2, 3 and 4, that is, $N = 12$. Let us denote the performance characteristic of i arm by x_i ($j = 1, 2, \dots, 10$), and arm effectiveness by E_j .

The dependence between these quantities can be written as neural network:

$$\sum_{j=1}^{10} \alpha_j x_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, N. \quad (1)$$

It is considered for above presented arms that x_{ij} and E_j are known, their values are given in table 1. If we apply the mathematical model given in [8] then we obtain below the values of neural network factors:

– mortar:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 11.58123, \alpha_2 = -0.01786, \\ \alpha_3 &= -3.43018, \alpha_4 = 36.73646, \\ \alpha_5 &= -39.32734, \alpha_6 = -0.00416, \\ \alpha_7 &= 0.74021, \alpha_8 = -1.25743, \\ \alpha_9 &= -6.25943, \alpha_{10} = -1.98954; \end{aligned} \quad (2)$$

– cannons and howitzers:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 9.49153, \alpha_2 = 0.00660, \\ \alpha_3 &= -1.25995, \alpha_4 = -9.54496, \\ \alpha_5 &= 9.63352, \alpha_6 = -0.00359, \\ \alpha_7 &= 0.00028, \alpha_8 = -0.19277, \\ \alpha_9 &= -43.78641, \alpha_{10} = -3.26425; \end{aligned} \quad (3)$$

– VFRW:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= -7.49242, \alpha_2 = 0.01774, \\ \alpha_3 &= 4.23441, \alpha_4 = 1.12569, \\ \alpha_5 &= 3.72270, \alpha_6 = 0.01039, \\ \alpha_7 &= -0.00008, \alpha_8 = 0.00011, \\ \alpha_9 &= 96.0293, \alpha_{10} = 0.48191; \end{aligned} \quad (4)$$

– SPAS:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= 1.71139, \alpha_2 = 0.01149, \\ \alpha_3 &= -1.19681, \alpha_4 = -0.06277, \\ \alpha_5 &= 12.90055, \alpha_6 = 0.00769, \\ \alpha_7 &= -0.00083, \alpha_8 = 17.29470, \\ \alpha_9 &= 2.65821, \alpha_{10} = -0.00002. \end{aligned} \quad (5)$$

Thus, the effectiveness factor for any artillery systems can be calculated based on the performance characteristics by next formula

$$E = \sum_{j=1}^{10} \alpha_j x_j, \quad (6)$$

here $x_1, x_2, \dots, x_{10}$ are the values of performance characteristics.

Verification of neural network factors adequacy

For this purpose, let us calculate the effectiveness factors of arms which are unused in calculations of neural network factors, and compare the calculated values with the effectiveness factors given in tables 1 – 4 (see table 5).

Thus, (6) formula can be applied successfully for calculation of artillery systems effectiveness based on the performance characteristics.

In addition to that, included in (3.6) formula and determined for a linear combination the values of $\alpha_j, j = 1, 2, \dots, 10$ factors aren't always directly proportional to performance characteristics and it creates disagreements.

On the other part, taking into account that α_2 and α_7 factors are less than other ones and are negligible in effectiveness assessment, it is doubtful that these α_2 and α_7 factors are reason for disagreements.

Table 5 – The comparison of given and calculated effectiveness factors

Artillery systems	Effectiveness factors		Error	
	Given in table	Calculated	Absolute	in %
2B14-1 mortar (table 1, row 13)	$E_{13}=85.55$	$E_{13}=86.81$	1,26	1,47
M29 mortar (table 1, row 14)	$E_{14}=98.12$	$E_{14}=98.49$	0,37	0,37
MO-120 mortar (table 1, row 15)	$E_{15}=150.95$	$E_{15}=150.33$	0,62	0,41
M101A1 howitzer (table 2, row 13)	$E_{13}=246.72$	$E_{13}=246.72$	0,00	0,00
D20 cannon/howitzer (table 2, row 14)	$E_{14}=287.57$	$E_{14}=289.59$	2,02	0,70
M198 howitzer (table 2, row 15)	$E_{15}=346.64$	$E_{15}=345.63$	1,02	0,29
M-77 Oganj VFRW (table 3, row 13)	$E_{13}=804.88$	$E_{13}=807.96$	3,08	0,38
HADİD-Noor VFRW (table 3, row 14)	$E_{14}=857.95$	$E_{14}=860.19$	2,24	0,26
MLRS VFRW (table 3, row 15)	$E_{15}=1230.56$	$E_{15}=1229.89$	0,67	0,05
2S1/M1974 howitzer -15 km (table 3, row 15)	$E_{13}=344.71$	$E_{13}=344.79$	0,08	0,02
M44T howitzer -24 km (table 3, row 15)	$E_{14}=587.72$	$E_{14}=602.49$	14,77	2,51
2S3/M1973 howitzer -24 km (table 3, row 15)	$E_{15}=557.48$	$E_{15}=543.75$	13,73	2,46

For the purpose of clarification of the significance of this task, let us:

- investigate the correlation factors for assessment of the dependence between arms effectiveness factors and performance characteristics;

- justify the objective character of disagreements concerning a mathematical model of implicit

dependence between effectiveness and performance characteristics.

The correlation between performance characteristics of the artillery systems is arisen due to their meaning: the arm's calibre growth leads to growth of arm's weight, the arms's weight growth leads to increasing of staff number etc. Besides, as it is

mentioned above, the small values of α_2 and α_7 coefficients provide understanding how arms' fire shape and shell initial velocity impact to arm's effectiveness.

That is, when the hypothesis [5] is considered, it is arisen necessity to justify of the correct choosing of performans characteristics of the artillery systems.

Thus, many factors impact to the correlation between various characteristics and so, the nature of the correlation between mentioned quantities is complex and without mathematical assessment it is difficult to make conclusion about correlation between these quantities.

For simplicity, let us use Pearson's linear correlation formula [7, p.13] for the pupose of calculation of the factors of linear correlation between performans characteristics:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2\right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2\right]}} \quad (7)$$

Here: n is a number of considered arms, $n = 12$; x_i and y_i are the values of i arm x and y performance characteristics; $\bar{x}$ and $\bar{y}$ are the average values of x and y performance characteristics, respectively.

Thereupon $n < 1000$, calculated by (7) formula the values of correlation factors should be corrected by below formula:

$$r' = r \cdot \left[1 + \frac{1-r^2}{2 \cdot (n-2)} \right] \quad (8)$$

The calculated by (7) and (8) values of the factor correlation have been presented in tables 6÷9 (here: 0 – calibre, 1 – maximum gunfire range, 2 – vertical rotation angle of tube (degree), 3 – horizontal rotation angle of tube, 4 – shell weight, 5 – fire rate, 6 – ordnance weight, 7 – shell initial velocity, 8 – staff number, 9 – ammunition equipment, 10 – effectiveness factor).

For purpose of assessment of correlation between considered quantities let us use theses given in [7, p.12]:

$|r'| = 1$ – that is, there is a functional dependency between quantities;

$0.95 \leq |r'| < 1$ – that is, this dependence is a very strong;

$0.75 \leq |r'| < 0.95$ – that is, this dependence is strong;

$0.5 \leq |r'| < 0.75$ – that is, this dependence is average;

$0.2 \leq |r'| < 0.5$ – that is, this dependence is weak;

$0 \leq |r'| < 0.2$ – that is, practically there is not a dependence.

If the sign of a correlation factor r' is positive then there are directly proportional quantities, if the sign is negative then there are inversely proportional quantities.

Table 6 – Correlation factors of performance characteristics for mortars

№	Mortars' performance characteristics	Linear correlation factor r'										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Calibre	-	0.781	-0.206	0.596	0.921	-0.366	0.888	0.408	0.659	-0.669	0.785
2.	Maximum gunfire range	0.781	-	0.091	0.578	0.741	-0.183	0.724	0.768	0.727	-0.460	0.873
3.	Vertical rotation angle of tube	-0.206	0.091	-	0.326	0.152	0.186	0.183	0.159	-0.021	0.302	0.040
4.	Horizontal rotation angle of tube	0.596	0.578	0.326	-	0.810	-0.174	0.834	0.204	0.073	-0.233	0.316
5.	Shell weight	0.921	0.741	0.152	0.810	-	-0.338	0.990	0.298	0.479	-0.550	0.650
6.	Fire rate	-0.366	-0.183	0.186	-0.174	-0.338	-	-0.222	0.071	-0.106	0.881	-0.138
7.	Ordnance weight	0.888	0.724	0.183	0.834	0.990	-0.222	-	0.282	0.423	-0.428	0.600
8.	Shell initial velocity	0.408	0.768	0.159	0.204	0.298	0.071	0.282	-	0.758	-0.113	0.756
9.	Staff number	0.659	0.727	-0.021	0.073	0.479	-0.106	0.423	0.758	-	-0.443	0.872
10.	Ammunition equipment	-0.669	-0.460	0.302	-0.233	-0.550	0.881	-0.428	-0.113	-0.443	-	-0.501
11.	Effectiveness factor	0.785	0.873	0.040	0.316	0.650	-0.138	0.600	0.756	0.872	-0.501	-

For purpose of application of the offered in [9] effectiveness factor calculation method and of determination of the importance of selected performance characteristics let us analyse row 11 in tables 6, 7, 8 and 9:

– for mortars: the influence of the calibre, the maximum gunfire range, the shell initial velocity and the staff number on the effectiveness factor is strong; the influence of the shell and ordnance weight is average; the influence of other performance characteristics on the effectiveness factor is weak or it is not practically;

– for howitzers and cannons: the influence of the calibre, the maximum gunfire range and ammunition equipment on the effectiveness factor is average; the influence of other performance characteristics on the effectiveness factor is weak or it is not practically;

– for VFRW: the influence of the number of tubes and ordnance size on the effectiveness factor is strong; the influence of the maximum gunfire range and the ordnance weight on the effectiveness factor is average; the influence of other performance characteristics on the effectiveness factor is weak or it is not practically;

Table 7 – Howitzers and cannons performance characteristics

№	Howitzers and cannons	Linear correlation factor r'										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Calibre	-	0,626	0,048	0,912	-0,804	0,911	0,782	-0,139	0,805	-0,953	0,532
2.	Maximum gunfire range	0,626	-	0,076	0,580	-0,549	0,626	0,685	-0,097	0,570	-0,477	0,659
3.	Rotation angle of tube	0,048	0,076	-	-0,050	-0,061	-0,118	-0,208	-0,167	-0,166	0,010	0,052
4.	Shell weight	0,912	0,580	-0,050	-	-0,687	0,959	0,791	-0,183	0,842	-0,849	0,406
5.	Fire rate	-0,804	-0,549	-0,061	-0,687	-	-0,689	-0,705	0,247	-0,663	0,724	-0,313
6.	Ordnance weight	0,911	0,626	-0,118	0,959	-0,689	-	0,842	-0,057	0,885	-0,884	0,432
7.	Ordnance size	0,782	0,685	-0,208	0,791	-0,705	0,842	-	-0,015	0,882	-0,789	0,403
8.	Shell initial velocity	-0,139	-0,097	-0,167	-0,183	0,247	-0,057	-0,015	-	-0,099	0,087	0,016
9.	Staff number	0,805	0,570	-0,166	0,842	-0,663	0,885	0,882	-0,099	-	-0,805	0,281
10.	Ammunition equipment	-0,953	-0,477	0,010	-0,849	0,724	-0,884	-0,789	0,087	-0,805	-	-0,511
11.	Effectiveness factor	0,532	0,659	0,052	0,406	-0,313	0,432	0,403	0,016	0,281	-0,511	-

Table 8 – Correlation factors of performance characteristics for VFRW

№	Volley fire rocket weapons	Linear correlation factor r'										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Calibre	-	0,479	-0,187	-0,483	0,990	0,871	0,324	0,102	-0,171	-0,103	-0,112
2.	Maximum gunfire range	0,479	-	0,113	0,224	0,547	0,533	0,556	0,575	0,112	0,481	0,731
3.	Rotation angle of tube	-0,187	0,113	-	0,461	-0,174	0,275	0,335	0,718	-0,411	-0,121	0,469
4.	Number of tubes	-0,483	0,224	0,461	-	-0,411	-0,071	0,463	0,708	0,425	0,324	0,783
5.	Shell weight	0,990	0,547	-0,174	-0,411	-	0,869	0,365	0,169	-0,132	0,038	-0,010
6.	Fire rate	0,871	0,533	0,275	-0,071	0,869	-	0,492	0,477	-0,189	-0,177	0,181
7.	Ordnance weight	0,324	0,556	0,335	0,463	0,365	0,492	-	0,837	0,242	0,078	0,608
8.	Ordnance size	0,102	0,575	0,718	0,708	0,169	0,477	0,837	-	0,122	0,215	0,853
9.	Staff number	-0,171	0,112	-0,411	0,425	-0,132	-0,189	0,242	0,122	-	0,093	0,346
10.	Movement possibilities	-0,103	0,481	-0,121	0,324	0,038	-0,177	0,078	0,215	0,093	-	0,564
11.	Effectiveness factor	-0,112	0,731	0,469	0,783	-0,010	0,181	0,608	0,853	0,346	0,564	-

Table 9 – SPAS performance characteristics

Sıra №	Self-propelled artillery sets	Linear correlation factor r'										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Calibre	-	0,481	-0,710	0,916	-0,709	0,418	0,522	0,345	-0,836	0,052	0,447
2.	Maximum gunfire range	0,481	-	-0,376	0,538	0,012	0,748	0,678	0,192	-0,341	0,355	0,928
3.	Rotation angle of tube	-0,710	-0,376	-	-0,635	0,708	0,024	-0,077	-0,624	0,567	-0,134	-0,381
4.	Shell weight	0,916	0,538	-0,635	-	-0,617	0,523	0,560	0,424	-0,760	0,056	0,537
5.	Fire rate	-0,709	0,012	0,708	-0,617	-	0,260	-0,060	-0,475	0,783	0,215	0,174
6.	Ordnance weight	0,418	0,748	0,024	0,523	0,260	-	0,728	0,137	-0,218	0,120	0,809
7.	Ordnance size	0,522	0,678	-0,077	0,560	-0,060	0,728	-	0,097	-0,410	0,286	0,560
8.	Staff number	0,345	0,192	-0,624	0,424	-0,475	0,137	0,097	-	-0,247	-0,312	0,223
9.	Ammunition equipment	-0,836	-0,341	0,567	-0,760	0,783	-0,218	-0,410	-0,247	-	0,000	-0,144
10.	Movement possibilities	0,052	0,355	-0,134	0,056	0,215	0,120	0,286	-0,312	0,000	-	0,379
11.	Effectiveness factor	0,447	0,928	-0,381	0,537	0,174	0,809	0,560	0,223	-0,144	0,379	-

– for SPAS: the influence of the maximum gunfire range and the ordnance weight on the effectiveness factor is strong; the influence of the shell weight and ordnance size on the effectiveness factor is average; the influence of other performance characteristics on the effectiveness factor is weak or it is not practically.

The explanation of "discrepancy" between quantities. For purpose of understanding of importance

of the task let us construct of the mathematical model of functional dependency between weapons performance characteristics, combat properties and an effectiveness factor. Let us adopt, that

$$A = A(x_1, \dots, x_{10}),$$

$$M = M(x_1, \dots, x_{10}),$$

$$Y = Y(x_1, \dots, x_{10})$$

$$T = T(x_1, \dots, x_{10})$$

are the functions expressed numerical values of firepower, mobility, durability and applicability, respectively, and are depended on $x_1, \dots, x_{10}$ variables.

Here: $x_1, \dots, x_{10}$ are normalized performance characteristic's coefficients of above mentioned artillery systems. Let us express an arm effectiveness factor via firepower, mobility, durability and applicability as

$$E = E(A, M, Y, T)$$

function and adopt that

$$E(0, 0, 0, 0) = 0.$$

Let us adopt that these functions are smooth. Let us extract the linear part of

$$\begin{aligned} E(x_1, \dots, x_{10}) &= E(A(x_1, \dots, x_{10}), \\ M(x_1, \dots, x_{10}), Y(x_1, \dots, x_{10}), \\ T(x_1, \dots, x_{10})) \end{aligned} \quad (9)$$

equation and obtain [9, p.505]:

$$E(x_1, \dots, x_{10}) = \sum_{i=1}^{10} a_i x_i + o\left(\sqrt{\sum_{i=1}^{10} x_i^2}\right),$$

burada

$$a_i = \frac{\partial E}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial x_i} + \frac{\partial E}{\partial M} \frac{\partial M}{\partial x_i} + \frac{\partial E}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial x_i} + \frac{\partial E}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x_i}. \quad (10)$$

In dependence of the signs and absolute values of included in (10) quantities the α_i can be equal unexpected values and it helps to explain an above mentioned "discrepancy". For example, $a_i = -7/492$ for included in (1) arm's calibre, we have:

$$\frac{\partial E}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial x_i} + \frac{\partial E}{\partial M} \frac{\partial M}{\partial x_i} + \frac{\partial E}{\partial Y} \frac{\partial Y}{\partial x_i} + \frac{\partial E}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x_i} = -7.492. \quad (11)$$

We can see, that the increase of arm's calibre influences positively on the firepower, but in the same time, the increase of ordnance weight and staff number influences negatively on the arm's mobility, durability and applicability. In other words,

$$\frac{\partial A}{\partial x_i} > 0, \quad \frac{\partial M}{\partial x_i} < 0, \quad \frac{\partial Y}{\partial x_i} < 0, \quad \frac{\partial T}{\partial x_i} < 0. \quad (12)$$

The negative sign of α_i indicates that in (10) the "weight" of negative components sum is more than positively ones. If these logical reasoning are applied to other characteristics then the sense of discrepancy in signs of coefficients included in the effectiveness factor equation is understandable.

Conclusion

The essence of the problem of determination of effectiveness factors of artillery system has been disclosed in the paper. On the base of the hypothesis of presentation possibility of effectiveness factors of artillery systems as linear combination of performance characteristics, the method of effectiveness factors calculation for the new artillery systems of the same category it has been offered.

By this model using the effectiveness factors for the several artillery systems have been calculated, by compare of obtained data with their effectiveness factors, the adequacy of constructed mathematical model has been shown. At the same, with purpose of investigation of the "discrepancy" between the linear combination coefficients and the influence feature on effectiveness factor of relevant performance characteristic, the correlation between performance characteristics and the correlation between each performance characteristic and performance characteristic have been investigated, also Pearson's linear correlations coefficients have been calculated.

The efficiency coefficient dependence on battle characteristics (artillery firepower, mobility, durability and applicability) and on the performance characteristics has been modelled. The "discrepancy" in the signs and the values of the performance characteristics coefficients has been explained by various impacts on the battle characteristics of artillery piece.

In the paper, based on the neural network the mathematical model has been constructed for determination the dependence of effectiveness factors of the artillery systems on main performance characteristics.

For determination of neural network factors, the performance characteristics and effectiveness factors of known artillery systems have been used.

The network factors have been calculated by method of least squares. For purpose of verification of the adequacy of calculated network factors the mathematical model has been applied for arms with known effectiveness factors and it confirms an appropriateness of calculations. By application of Pearson's linear correlations formula the analysis of calculated factors showed that for calculation of effectiveness factors the selected characteristics are sufficiently important.

One can think, that the constructed mathematical model for calculation of artillery systems effectiveness factors has not "discrepancy" and can be applied for assessment of effectiveness factors of the new artillery systems.

REFERENCES

1. Buravlev, A.I., Tsirendojiev, S.R. and Brezgin, V.S. (2009), "The basis of methodology of combat potential assessment military technics and units", *Weapons and economics*, No. 3 (7), pp. 4-12.
2. "KKYY-190-7(A)" (2001), *Birlik etkinliklerinin değerlendirilmesinde hareket etkinliği metodu*, K.K. Basımevi və Basılı Evrak Depo Müdürlüğü, Ankara, 101 p.
3. Kononov, V.B., Kushneruk, Yu.I. and Koval, A.V. (1987), "Determination method of significance coefficients of combat means", *Military-technical problems*, pp. 39-41.

4. Bonin, A.S. (2005), "Combat properties and effectiveness of weapons and military technics", *Military thought*, No. 1, pp. 65-68.
5. Aliev, A.A., Bayramov, A.A. and Sabziev, E.N. (2016), "Effectiveness factors determination of weapons and military technics by using their performance and combat characteristics", *National Security and Military Sciences journal*, No.1 (2), pp. 91-97.
6. Aliev, A.A., Bayramov, A.A. and Sabziev, E.N. (2016), "About combat characteristics determination of small arms", *National Security and Military Sciences journal*, No. 2 (2), pp.70-74.
7. Haykin, S. (1999), *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, 2nd Edition, Prentice-Hall, 823 p.
8. Aliev, A.A., Bayramov, A.A. and Sabziev, E.N. (2017), "The effectiveness factors determination method of small arms", *Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems*, Vol. XXXVI, No. 6, pp.78-84.
9. Ilyin, V.A. and Poznyak, E.G. (1982), *The basis of mathematical analysis*, Part 1, Fizmatgiz, Moscow, 616 p.

Надійшла (received) 21.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 15.08.2018

Эффективность артиллерийских систем

А. А. Алиев, А. А. Байрамов, Э. Н. Сабзиев

Предмет изучения: эффективность современных артиллерийских систем. **Цель статьи.** Разработка метода, который позволит определить коэффициенты эффективности артиллерийских систем. **Результаты работы.** На основе гипотезы о возможности представления коэффициентов эффективности оружия в виде линейной комбинации тактико-технических характеристик, предложен метод расчета коэффициента эффективности для нового оружия данной категории. Построена математическая модель на базе нейронной сети. Для определения параметров нейронной сети использовались характеристики и факторы эффективности известных артиллерийских систем. Синаптические коэффициенты нейронной сети были рассчитаны методом наименьших квадратов. Используя эту модель были рассчитаны коэффициенты эффективности для ряда образцов оружия. Сравнение полученных значений с известными коэффициентами эффективности показало адекватность построенной математической модели. Исследовано несоответствие между коэффициентами линейной комбинации и характером влияния на коэффициент эффективности соответствующих тактико-технических характеристик. Изучены корреляционные связи между тактико-техническими характеристиками; между каждой тактико-технической характеристикой и коэффициентом эффективности. Для рассчитанных показателей были вычислены коэффициенты линейной корреляции Пирсона. Была смоделирована зависимость коэффициента эффективности от боевых характеристик – огневой мощи оружия, мобильности, живучести и применяемости, а также, в свою очередь, их зависимость от тактико-технических характеристик. Наблюдаемое «несоответствие» в знаке и величине коэффициентов, характеризующих влияния тактико-технических характеристик, было объяснено различным характером их влияния на боевые характеристики оружия. **Выводы.** Предложенная математическая модель, базирующаяся на нейронной сети, позволяет определить зависимости коэффициентов эффективности артиллерийских систем от основных характеристик работы. Построенная математическая модель для расчета коэффициентов эффективности артиллерийских систем не «расходится» и может применяться для оценки эффективности новых артиллерийских систем.

Ключевые слова: артиллерийские системы; боевые характеристики; показатели тактико-технических характеристик; коэффициент эффективности; нейронные сети; метод наименьших квадратов; коэффициент линейной корреляции.

Ефективність артилерійських систем

А. А. Алієв, А. А. Байрамов, Е. Н. Сабзиев

Предмет вивчення: ефективність сучасних артилерійських систем. **Мета статті.** Розробка методу, який дозволить визначити коефіцієнти ефективності артилерійських систем. **Результати роботи.** На основі гіпотези про можливість подання коефіцієнтів ефективності зброї у вигляді лінійної комбінації тактико-технічних характеристик, запропонований метод розрахунку коефіцієнта ефективності для нового зброї даної категорії. Побудовано математичну модель на базі нейронної мережі. Для визначення параметрів нейронної мережі використовувалися характеристики і фактори ефективності відомих артилерійських систем. Вагові коефіцієнти синапсів нейронної мережі були розраховані методом найменших квадратів. Використовуючи цю модель були розраховані коефіцієнти ефективності для ряду зразків зброї. Порівняння отриманих значень з відомими коефіцієнтами ефективності показало адекватність побудованої математичної моделі. Досліджено невідповідність між коефіцієнтами лінійної комбінації і характером впливу на коефіцієнт ефективності відповідних тактико-технічних характеристик. Вивчено кореляційні зв'язки між тактико-технічними характеристиками; між кожною тактико-технічною характеристикою і коефіцієнтом ефективності. Для розрахованих показників були обчислені коефіцієнти лінійної кореляції Пирсона. Була змодельована залежність коефіцієнта ефективності від бойових характеристик - вогневої потужності зброї, мобільності, живучості і вживаності, а також, в свою чергу, їх залежність від тактико-технічних характеристик. Спостережувана «невідповідність» в знаку і величині коефіцієнтів, що характеризують впливу тактико-технічних характеристик, була пояснена різним характером їх впливу на бойові характеристики зброї. **Висновки.** Запропонована математична модель, що базується на нейронній мережі, дозволяє визначити залежності коефіцієнтів ефективності артилерійських систем від основних характеристик роботи. Побудована математична модель для розрахунку коефіцієнтів ефективності артилерійських систем не «розходиться» і може застосовуватися для оцінки ефективності нових артилерійських систем.

Ключові слова: артилерійські системи; бойові характеристики; показники тактико-технічних характеристик; коефіцієнт ефективності; нейронні мережі; метод найменших квадратів; коефіцієнт лінійної кореляції.

Yu. Bederak¹, D. Gapon², A. Zuev²

¹ PJSC «AZOT», Cherkasy, Ukraine

² National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

METHOD OF DETERMINING THE PARAMETERS OF AN EQUIVALENT ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTOR IN REAL TIME

A calculation of the parameters of the equivalent asynchronous electric machine allows introducing the automated calculation of the static and dynamic stability of an electrical supply system in an industrial enterprise for any combination of different electric motors. It also ensures the electromagnetic compatibility in a network by means of calculations of nonsinusoidal mode in the network with proposed sources of higher harmonics. The research **purpose** is a method for accurate determination of the equivalent asynchronous machine parameters for the load node consisting of several groups of asynchronous electric motors of the same type. An algorithm block diagram for calculating the initial data is developed. The input data is the number of groups of the same motor type, the number of machines in each group, and a vector of the engine power ratings. The polling of the counters of each engine in all groups is performed through the use of an embedded cycle. A fragment of a substation one-line scheme which feeds an electrical industrial enterprise water circuit is given: three 800 kW asynchronous machines for each pump, three 400 kW asynchronous machines and three 250 kW asynchronous machines. The calculation **results** for the given example of the scheme are executed and presented in the table. The data obtained show that the actual parameters of the equivalent machine in a 6 kV load node are significantly different from the averaged data. The typical difference between the results obtained by the proposed method and the available methods is 5%, and the maximum reaches 30%. Therefore, it is expedient to use accurate data when performing calculations.

Keywords: equivalent asynchronous machine; group of electric motors of the same type; load node; information and control system.

Introduction

In most cases, the main load in the distribution substations of industrial undertakings is created by a group of asynchronous motors (AM). The influence of the resistance of this group on the power supply mode is enough significant to ensure the accepted accuracy of the calculations, the calculations of the equivalent resistance of several groups of motors belonging to the same type must be extremely precise.

The approximate formulas developed for the equivalent AM parameters calculation do not take into account the nameplate data for each motor. For a load node consisting of many different 0.4 kV motors, calculating the parameters of the equivalent AM at any specific time with required accuracy is impossible. But for a load node consisting of several groups of 6 kV motors of the same type this task is of immediate interest, and can be performed by using information and control systems.

The modern stage of the information processing technologies development can be described by the wide use of the information and control systems, including their use to control distribution substations. Such a system can be always used to calculate the static and dynamic stability of an industrial undertaking power-supply system for any combination of different motors. In addition, such system allows computing nonsinusoidal mode in a network with a higher harmonics source, which will ensure electromagnetic compatibility in the electric network.

Literature data analysis and the problem statement. In [1] analyzes the AM parameters calculation in different working modes, but it lacks a calculation procedure for groups consisting of several motors.

The calculation procedure given in [2] is intended for control systems and does not allow taking into account the influence of the motors working modes on an electric power system.

Generalizations made in [3] can be used only to calculate motors with a high rotating speed.

In the article [4] is the closest to solving the problem of the asynchronous motors group parameters, but the algorithm this work describes requires adjustment in order to function in a real-time scale.

The model contemplated in work [5] is not unraveled to the full extent – moreover, its practical implementation is not described, which makes it impossible to use except in the MATLAB simulation environment.

In the article [6] describes a method to estimate the AM parameters when the extent of the available data is minimal, but the obtained estimate demonstrates significant discrepancy, which prevents it from using in resonance effects calculations within an electric power system.

Thus, none of the methods considered can be used to effectively analyze the interaction of an electric power system with motors groups in real time.

Theoretical foundations for automatic systems for measurement of power consumption (ASFMOPC) have been developed in [7, 8]. The ASFMOPC collect the energy accounting data from electricity meters (electronic meters). These data are processed by an ASFMOPC server and can be used to solve different problems, including determination of the parameters of the equivalent AM.

Thus, using the energy accounting data, which can be obtained in real time mode and transmitted for further processing in ASFMOPC, and the theory to calculate the parameters of the equivalent AM, it is

reasonable to determine the number of working motors in each group in real time mode. It can be used to build information and control system determining the equivalent AM parameters, which in turn can be used in automated calculations of the parameters and modes of the power-supply system for industrial undertakings.

The goal of the article consists in developing a method to determine the equivalent asynchronous motor parameters for a load node comprising several groups of similar asynchronous motors of significant power.

Calculating the parameters of the equivalent AM

Theoretical basis of the equivalent AM parameters calculation are developed completely enough by Yu.E. Gurevich in [9, 10]. Article [11] describes a method that automatically determines the number of asynchronous or synchronous motors with 10(6) kV voltage in a group of the single-type motors. But in practice, the 10(6) kV buses of a substation are connected to several groups of motors, so to perform automatic calculations it is necessary to know the number of working motors in each group at any given moment.

The following nameplate data and AM groups parameters are used as the output data for equivalent of an asynchronous motor: P_n is the rated active power of the motor, kW; Q_n is the rated reactive power of the motor, kVAr; I_n is the motor rated current, A; $\cos \phi_n$ is the rated power factor, relative units (RU); k is the locked rotor current ratio, RU; M_m is the ratio of the maximum torque to the rated one, RU; M_p is the ratio of the starting torque to the rated one, RU; w_{pi} is the weighting factor of the rated active power of each motor group for the total rated power of all AMs, RU.

In the expressions for the equivalent AM calculation, the number of the single type motors in the AM group is expressed as n .

According to researches [1], the no-load current of the AM I_{is} is calculated according to the following formula:

$$I_{is} = I_n \cdot \left(\sin \phi_n - \cos \phi_n \sqrt{b_n^2 - 1} \right), \quad (1)$$

where b_n is the ratio of the maximum torque to the rated one on the AM shaft. Calculation made according to the AM catalogued data ($\cos \phi_n = 0.8 \dots 0.92$; $b_n = 2 \dots 2.7$) show that the minimal value of I_{is} is within the interval from 25 to 40% of the motor rated current [11]. These relationships are used to determine the working state of the AM. That is why it is reasonable to determine one minimal value for the AM power upon achieving which it is considered put into operation (that is, 25 %).

Using the above mentioned information makes it possible to develop a method for automatic determination of the AM parameters in a real-time scale, which will function as part of information and control system for an industrial undertaking power supply.

Determination of the equivalent AM parameters in a real-time scale in an information and control system

Figure 1 shows a single line diagram section of a substation energizing electric users of an industrial undertaking water recirculation system (three 800 kW asynchronous motors to drive cold water supply pumps (CWP), three 400 kW asynchronous motors for hot water supply pumps (HWP), and three 250 kW asynchronous motors for cooling towers fan installations (FI)).

The nameplate data for each AM group and calculated parameters of the equivalent AM are given in Table 1.

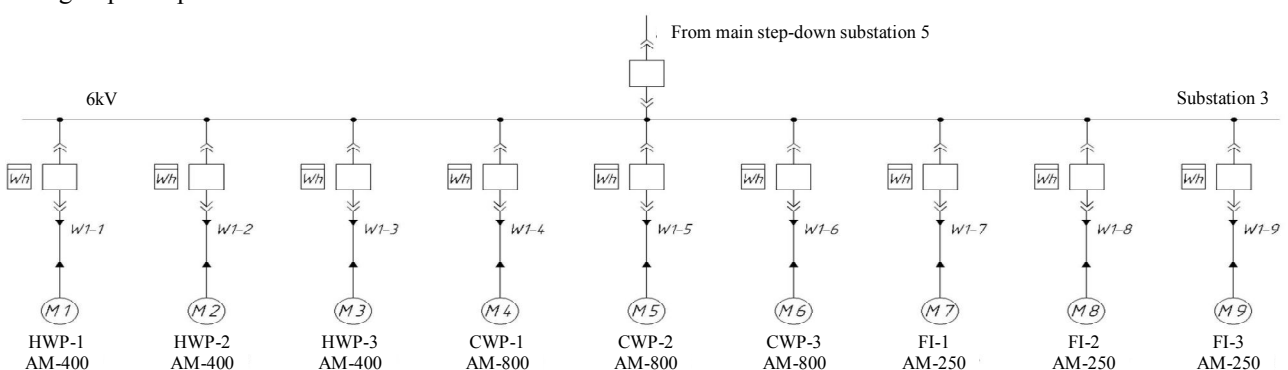


Fig. 1. A single line diagram section of a 6 kV substation energizing the electric users of the water recirculation system

Table 1. The nameplate data and parameters of groups consisting of the same type AMs

AM designation	AM type	P_n , kW	I_n , A	$\cos \phi_n$, RU	Q_n , kVAr	$tg \phi_n$, RU	M_m , RU	M_p , RU	k , RU	w_{pi} , RU
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CWP	A4-450Y-6Y3	800	74.5	0.860	474	0.593	2.000	1.00	5.40	0.552
HWP	A13-42-8	400	48.0	0.860	237	0.593	2.100	1.20	5.10	0.276
FI	A113-4	250	29.4	0.889	129	0.515	2.500	1.30	5.80	0.172
Equivalent AM	-	4350	455.7	0.865	2520	0.579	2.055	1.07	5.38	1.000

To determine the number of AMs (or SMs) in each group of identical electric motors, it is proposed to install electronic multifunctional electricity meters in the relay section on each connection of high-voltage motors, so as to measure the current, voltage, power, frequency and other parameters of the power supply mode in real time mode. The information system is to provide data collecting, data processing, and data transmission to ASFMOPC in real-time mode. For it to work, it is necessary to develop an algorithm that would check the measured values of the power for raw errors, and automatically calculate the number of AMs (SMs) in the groups consisting of same type electric motors. This algorithm is shown in Figure 2.

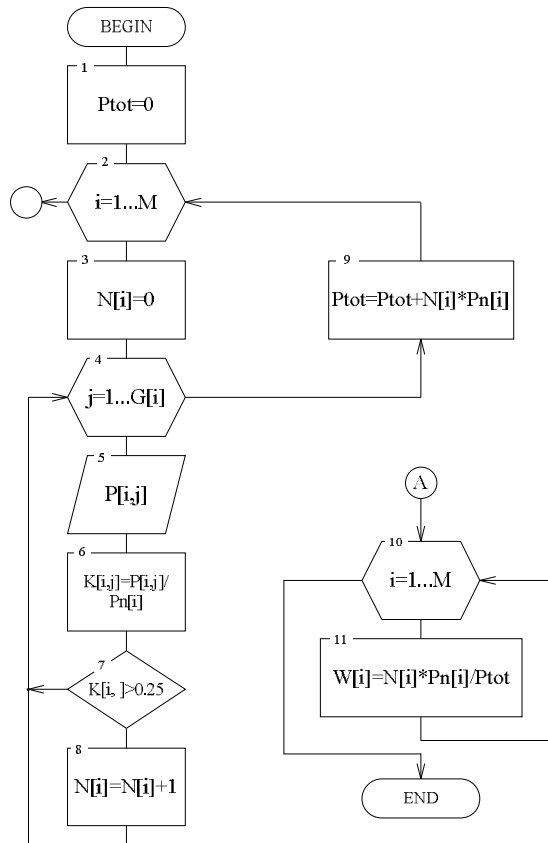


Fig. 2. The scheme of the algorithm determining the number of energized AMs (SMs)

The output data include the number of groups consisting of the same type motors M , the vector for the number of motors in each group G , and the vector of the rated powers of the motors P_n . An embedded loop is used to iterate and poll the meters of each motor in all groups. The relative power K is calculated according to the known actual power being consumed. When the motors load exceeds 25 % of its rated power, the motor is considered energized. In this case the value of the corresponding counter in the counters vector N is incremented. The execution of the algorithm results in the complete list of the number of the energized motors for each group, saved as the vector N .

At the same time, the total power of the energized motors P_{tot} is calculated, being represented as the vector of the weight coefficients W for the motors

groups. The algorithm shown can be implemented by using microcontroller techniques within the boundaries of an information and control system, operating in a real-time scale.

Analysis of the described method

When analyzing a network node that energizes an AM group (or an SM group), two distinctive cases can be distinguished:

1) Few motors with known parameters and working mode are connected to this electrical network node. This case applies to medium voltage AMs with rated power from 200 kW. The exact number of AMs can be determined by using the electricity meters connected to ASFMOPC. This increases the accuracy when determining parameters of the equivalent AM according to the approach and calculation methods are described in [2, 10, 11]. These data can be used to obtain the static stability of the AM and nonsinusoidal mode of the power-supply system with a higher harmonics source (HH).

Let's give an example of the equivalent AM parameters calculation using the nameplate data from Table 1 and the single line diagram shown in Figure 1. At the moment, there are three CWP operating (their number being $N_1 = 3$), as well as three HWP ($N_2 = 3$), and three FI ($N_3 = 3$). The total rated active power of the equivalent AM is expressed as follows:

$$P_{n,eq} = \sum_{i=1}^M N_i P_{n,i} = 3 \cdot 800 + 3 \cdot 400 + 3 \cdot 250 = 4350 \text{ kW} \quad (2)$$

$$Q_{n,eq} = \sum_{i=1}^M N_i Q_{n,i} = 3 \cdot 474 + 3 \cdot 237 + 3 \cdot 129 = 2250 \text{ kVar} \quad (3)$$

The actual value of the real power of the AMs being operated is determined according to the electricity meters. The actual reactive power of the equivalent AM is found similarly. The displacement power factor of the equivalent AM $\text{tg}\phi_{n,eq}$ is determined according:

$$\text{tg}\phi_{n,eq} = Q_{n,eq} / P_{n,eq} \quad (4)$$

When introducing the weighting factors w_{Pi} in relation to the rated active power of the each motor group $P_{n,i}$, the value of the weighting factor will be equal to the following:

$$w_{Pi} = N_i P_{n,i} / \sum_{j=1}^M (N_j P_{n,j}) \quad (5)$$

The substitution of values results in the following:

$$w_{P1} = \frac{3 \cdot 800}{3 \cdot 800 + 3 \cdot 400 + 3 \cdot 250} = 0.552 \quad (6)$$

$$w_{P2} = \frac{3 \cdot 400}{3 \cdot 800 + 3 \cdot 400 + 3 \cdot 250} = 0.276 \quad (7)$$

$$w_{P3} = \frac{3 \cdot 250}{3 \cdot 800 + 3 \cdot 400 + 3 \cdot 250} = 0.172 \quad (8)$$

Then, for the output data described, the expression for $\text{tg}\phi_{n,eq}$ can be written as follows:

$$tg\phi_{n,eq} = \sum_{i=1}^M (Q_{n,eq,i} / P_{n,eq,i}) \cdot w_{Pi} =$$

$$= \frac{474}{800} \cdot 0.552 + \frac{237}{400} \cdot 0.276 + \frac{129}{250} \cdot 0.172 = 0.579. \quad (9)$$

For the value of the rated power factor of the equivalent AM, the formula is as follows:

$$\cos\phi_{n,eq} = (1 + tg^2\phi_{n,eq})^{-1/2} =$$

$$= (1 + 0.579^2)^{-1/2} = 0.865. \quad (10)$$

The active power load factor for an AM, $LF_i = P/P_n$, in the case of the equivalent AM is determined according to the following formula:

$$LF_{eq} = \sum_{i=1}^M LF_i w_{Pi}, \quad (11)$$

where LF_{eq} is the load factor of the equivalent AM, LF_i is the load factor of the i -th AM, w_{Pi} is the weighting factor relative to the rated active power of the i -th group of electric motors. The load factor for each AM can be determined according to the ASFMOPC data. To simplify the calculations, let us assume that the load factor for each AM and of the equivalent AM is equal to 0.9. The maximum torque $M_{m,eq}$ for the equivalent AM is determined according to the following formula:

$$M_{m,eq} \approx \sum_{i=1}^n (M_{m,i} w_{Pi}) =$$

$$= 2.0 \cdot 0.552 + 2.1 \cdot 0.276 + 2.5 \cdot 0.172 = 2.055. \quad (12)$$

The motor starting current of the equivalent AM should be equal to the sum of the starting currents of all AMs. That is why the locked rotor current ratio k_{eq} of the equivalent AM to the rated current of the equivalent AM is equal to the following:

$$k_{eq} = \sum_{i=1}^n (k_{Pi} I_{n,i}) / I_{n,eq} =$$

$$= \frac{5.4 \cdot 74.5 \cdot 3 + 5.1 \cdot 48 \cdot 3 + 5.8 \cdot 29.4 \cdot 3}{455.7} = 5.38. \quad (13)$$

When there is no need in providing stability for the AM during long-term supply interruptions t ($t \rightarrow \infty$), the starting torque of the equivalent AM $M_{p,eq}$ is determined according to [10, 11] in the following way:

$$M_{p,eq} = \sum_{i=1}^n (M_{p,i} w_{Pi}) =$$

$$= 1.0 \cdot 0.552 + 1.2 \cdot 0.276 + 1.3 \cdot 0.172 = 1.07. \quad (14)$$

2) A significant number of motors with unknown parameters and working mode are connected to this electrical network node. When used the averaged data for determination of the equivalent AM parameters for a 6 kV load node, its parameters can be expressed by the values specified in [10, 11].

Averaged values for $\cos\phi_n$, M_m , M_p , k_{eq} are taken according to column 2 of Table 2; the rated slip $S_n \approx 0.02$.

Table 2 compares parameters in the publication (column 3) and the averaged parameters of the equivalent AM (column 2) for a 6 kV load node.

Table 2. Comparison of the calculated and averaged parameters of the equivalent AM for a 6 kV load node

Parameters for equivalent AM	Averaged parameters	Calculated parameters	Difference in percentage terms (4)=100·((3)-(2))/(3)
$\cos\phi_n$, RU	0.84	0.865	2.90
M_m , RU	2.20	2.055	-7.05
M_p , RU	1.40	1.070	-30.80
k_{eq} , RU	5.40	5.380	-0.37

The calculation data that are given in column 3 of Table 2 illustrate that the actual equivalent AM parameters in a 6 kV load node significantly differ from their averaged data (the difference being as high as 30%). That is why when making calculations it is reasonable to use the data obtained by the described method.

Knowing the number of the energized AMs (or SMs) is very helpful when solving one more problem – that is, making preparations for the maintenance and repair of electric motors (calculating the run of each motor and its interrepair time).

Conclusions

1. The developed method for the accurate determination of the equivalent asynchronous motor parameters in real time mode for a load node consisting of several groups of similar AMs is realized by using automatic determination of the number of working AMs in each group. This method increases accuracy while obtaining the equivalent AM parameters (the difference between the calculated and averaged values can be as high as 30%).

2. Using the calculated values of the equivalent asynchronous motor parameters increases accuracy when calculating the static and dynamic stability of an industrial undertaking power-supply system, and the nonsinusoidal mode in a network with a higher harmonics source.

3. The data reflecting the number of the energized AM can be used to calculate the run of each motor, and to calculate its interrepair time.

4. The proposed method for determining the number of working motors is preferred when used for the determination of the number of working synchronous motors in each group of the single-type motors, with further determination of the equivalent SM parameters.

REFERENCES

1. Syromyatnikov, I.A. (1984), *Modes of operation of asynchronous and synchronous motors*, Energoatomizdat, Moscow, 240 p.
2. Gerling, D. (2018), "Dynamic Operation and Control of Induction Machines", *Electrical Machines. Mathematical Engineering*, Vol. 4, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 325–368, available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17584-8_12 (last accessed on June 15, 2018).

3. Gieras, J. F. and Saari J. (2012), "Performance calculation for a high-speed solid-rotor induction motor", *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 59, No. 6, pp. 2689–2700, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2010.5675415> (last accessed on June 15, 2018).
4. Osipov, V.S. (2017), "On the Determination of the Parameters of the Equivalent Circuit of Three-Phase Induction Motors", *Russian Electrical Engineering*, Vol. 88, No. 12, pp. 845–849, available at: <http://dx.doi.org/10.3103/S1068371217120124> (last accessed on June 15, 2018).
5. Ansari, A.A. and Deshpande, D.M. (2010), "Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink", *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 2(5), pp. 1260–1267.
6. Wang, G. and Park, S.W. (2014), "Improved Estimation of Induction Motor Circuit Parameters with Published Motor Performance Data", *Sixth Annual IEEE Green Technologies Conference*, Corpus Christi, TX, pp. 25–28, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/GREENTECH.2014.18> (last accessed on June 15, 2018).
7. Gurtovtsev, A.L. (1999), "Integrated automation of energy accounting at industrial enterprises and economic objects", *Journal "STA"*, Vol. 3, pp. 44–45.
8. Gurtovtsev, A.L. (2003), "Automation of power consumption management", *Industrial power engineering*, Vol. 8, pp. 5–6.
9. Gurevich, Yu.E., Libov, L.E. and Okin A.A. (1990), *Calculations of stability and anti-emergency automatics in power systems*, Energoatomizdat, Moscow, 390 p.
10. Gurevich, Yu.E., Libov, L.E. and Okin, A.A. (1981), *Load Resistance of Electric Systems*, Energoizdat, Moscow, 208 p.
11. Voloshko, A.V. and Bederak, Ya.S. (2016), "Method of automatic determination of the number of simultaneously working in the group of electric motors", *Electrical Engineering and Electromechanics*, Vol. 5, pp. 61–63, available at: <http://dx.doi.org/10.20998/2074-272X.2016.5.10> (last accessed on June 15, 2018).

Надійшла (received) 28.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 22.08.2018

Метод визначення параметрів еквівалентного асинхронного електродвигуна у реальному масштабі часу

Я. С. Бедерак, Д. А. Гапон, А. О. Зуєв

Метою досліджень є розробка методу визначення у реальному часі параметрів еквівалентного асинхронного електродвигуна вузла навантаження, що складається з декількох груп однотипних асинхронних електродвигунів. **Методика.** Для проведення розрахунків був розроблений алгоритм, блок-схема якого наведена у публікації. Також наведені розрахункові формули, що враховують вагову долю кожного двигуна та їх групи на основі визначення та аналізу даних електроспоживання, отриманих з приладів обліку електроенергії, встановлених на приєднаннях електродвигунів. **Результати.** Для перевірки придатності розробленого алгоритму наведений розрахунок параметрів еквівалентної машини для вузла, який містить три групи двигунів (800, 400 та 250 кВт), по три двигуни в кожній групі. **Практичне значення.** Одержані параметри еквівалентного асинхронного електродвигуна можуть бути використані для впровадження автоматизованої оцінки ефективності роботи групи однакових електродвигунів, розрахунків статичної та динамічної стійкості системи електропостачання промислового підприємства, визначення електромагнітної сумісності та захисту від резонансних явищ в мережі з джерелом вищих гармонік. Середнє значення різниці в відсотках між результатами, отриманими запропонованим методом і наявними методиками, становить 5%, а максимальне сягає 30%. **Висновки.** Розроблений метод точного визначення еквівалентних параметрів асинхронного двигуна в режимі реального часу для вузла навантаження, що складається з декількох груп аналогічних АЕД, реалізується шляхом автоматичного визначення кількості робочих АЕД в кожній групі. Результати дослідження можуть бути використані для розрахунку ходу кожного двигуна. Пропонований спосіб визначення кількості робочих двигунів є кращим для визначення числа робочих синхронних двигунів в кожній групі однотипних двигунів.

Ключові слова: еквівалентний асинхронний електродвигун; група однотипних електродвигунів; вузол навантаження; інформаційно-контрольна система.

Метод определения параметров эквивалентного асинхронного электродвигателя в реальном масштабе времени

Я. С. Бедерак, Д. А. Гапон, А. А. Зуев

Целью исследований является разработка метода определения в режиме реального времени параметров эквивалентного асинхронного электродвигателя (АЭД) узла нагрузки, состоящего из нескольких групп однотипных асинхронных электродвигателей. **Методика.** Для проведения расчетов был разработан алгоритм, блок-схема которого приведена в публикации. Также приведены расчетные формулы, учитывающие весовую долю каждого двигателя и их группы, на основе определения и анализа данных электропотребления, полученных с приборов учета электроэнергии, установленных на присоединениях электродвигателей. **Результаты.** Для проверки эффективности разработанного алгоритма приведен расчет параметров эквивалентной машины для узла, который содержит три группы двигателей (800, 400 и 250 кВт), по три двигателя в каждой группе. **Практическое значение.** Полученные параметры эквивалентного асинхронного электродвигателя могут быть использованы для внедрения автоматизированной оценки эффективности работы группы одинаковых электродвигателей, проведения расчетов статической и динамической устойчивости системы электроснабжения промышленного предприятия, оценки электромагнитной совместимости и защиты от резонансных явлений в сети с источником высших гармоник. Среднее значение разности в процентах между результатами, полученными предложенным методом и существующими методиками, составляет 5%, а максимальное достигает 30%. **Выводы.** Разработанный метод точного определения эквивалентных параметров асинхронного двигателя в режиме реального времени для узла нагрузки, состоящего из нескольких групп аналогичных АЭД, реализуется путем автоматического определения количества рабочих АЭД в каждой группе. Результаты исследования могут быть использованы для расчета хода каждого двигателя. Предлагаемый способ определения количества рабочих двигателей является предпочтительным для определения числа рабочих синхронных двигателей в группе однотипных двигателей.

Ключевые слова: эквивалентный асинхронный электродвигатель; группа однотипных электродвигателей; узел нагрузки; информационно-управляющая система.

S. Bulba

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

COMPOSITE APPLICATION DISTRIBUTION METHODS MODELING

The subject of consideration are algorithms for optimal distribution of existing pool of computing resources between composite applications and algorithm of utilization of resources on computing blocks. **The purpose** of the article is to analyze the results of simulation and mathematical modeling of the resource allocation process between composite applications, depending on the distribution option. **Results** The efficiency of existing dynamic planning algorithms that are related to the greedy algorithm class is considered. They find a locally optimal solution at each step. The boundary of effective planning of algorithms based on clustering approach is revealed. The efficiency of using ant colony optimization algorithm and algorithms of cluster approach using ant colony optimization algorithm is shown. The simulation of the distribution of the composite application is carried out, depending on the complexity of the graph construction. The dependence of the execution time of the composite application on utilization of resources on the calculated blocks is obtained. Using the resource utilization function, the quality of the distribution of composite application resources is analyzed, depending on the amount of data transferred to the calculations. **Conclusions.** Data on the quality of resource allocation is obtained, depending on such parameters as the time of implementation of the composite application, the volume of transmitted data, the complexity of the graph construction. A method for choosing the optimal resource allocation algorithm between composite applications depending on the listed parameters is proposed. This will allow you to quickly dispose of distributed computing blocks that are occupied by calculating a distributed task, which will speed up the computation of distributed tasks on an existing pool of computing blocks.

Keywords: composite application, utilization of resources, greedy algorithm, resource allocation, ant colony optimization algorithm, clusterization, ant clustering algorithm.

Introduction

We will evaluate the quality of the distribution of heterogeneous cloud environment resources between composite applications (CAs). To do this, using the methods and techniques of mathematical and simulation modeling, we will compare the results of the distribution of resources between the CAs.

During the experiment, it is necessary to take into account such parameters as the amount of transmitted CAs, the computational complexity, the construction of the CPs graph (the time of waiting for the tasks of the predecessors and their number). The presented parameters give an opportunity to clearly present the possibilities of developed methods for distributing resources of cloud environments between composite examples.

By comparison, methods for distributing resources are presented using the following algorithms: greedy, ant colony optimization, cluster and ant-cluster [1].

Greedy algorithm is a heuristic algorithm that takes the best decision, based on the available data at the current stage [9]. The essence of the greedy algorithm is locally optimal choice at each step.

The algorithm based on the clustering of computational tasks consists in partitioning the set of computational problems into a subset. These subsets are allocated to the computing resource, depending on the distribution requirements [11].

Ant colony optimization algorithm is one of the effective polynomial algorithms for finding approximate solutions of the salesman problem, as well as similar tasks for finding routes in graphs. The essence of the approach is to analyze and use the behavior model of ants who are looking for road from colony to food.

The ant clustering approach is an extended clustered algorithm using an ant. It means that a cluster

of computational tasks, which are subject to allocation, will be considered as an ant.

Analysis of literature. The articles [2-10] discusses different approaches for allocating resources in infocommunication systems. In this case, a number of optimization algorithms are used, in particular, each of the proposed approaches is usually oriented to only one of the methods. The article [1] describes the possibility of a dynamic choice of optimization algorithm, which is oriented on the quality of distribution by a certain parameter. Therefore, there is a need to find out the quality of distribution of composite applications depending on optimization of the algorithm.

The purpose of the article is to analyze the results of simulation and mathematical modeling of the resource allocation process between composite applications, depending on the distribution option.

Research results

1. Comparison of the methods of distribution of resources of the CAs on time characteristics. One of the main characteristics of the implementation of a CAs on a plurality of computing blocks is the time at which the calculation of the task that was distributed is completed. Therefore, it is necessary to trace the dynamics of the time of execution of composite applications depending on the volume of transmitted data using the presented algorithms of distribution (Fig. 1-4). The simulation was carried out with a CA having 14-15 computing blocks.

In Fig. 1, we see the execution time of typical composite applications that have a data volume of 0 to 10 MB. It is clear the preference has the greedy algorithm at the small volumes of transmitted data. This is because the presented algorithm makes the optimal choice at each step of the allocation of resources, despite the rationality of the subsequent allocation.

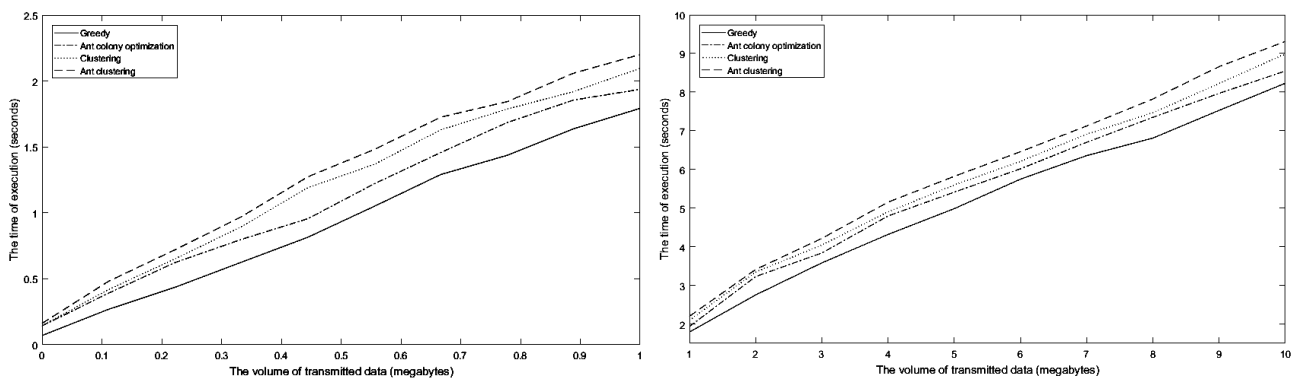


Fig. 1. Dependence of the time of execution of CAs from the allocation algorithm

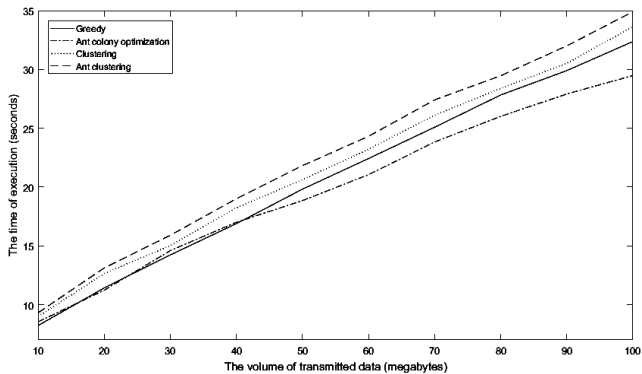


Fig. 2. Dependence of the time of execution of CAs from the allocation algorithm

Fig. 2 represents loss of efficiency of greedy algorithm at the mark of 40 MB. This is due to an increase in the complexity of the allocation of resources

for the CAs with an increase in its volume. Improvement of allocation using an ant colony optimization algorithm is due to its ability to adapt to allocation conditions. But the complexity of its calculation did not give priority results on small volumes.

Fig. 3 represents the beginning of an efficient allocation of the resources of CAs with the help of cluster algorithm. This is facilitated by the possibility of grouping the tasks of CAs in terms of their parameters in the computing blocks.

Fig. 4 shows how the execution rate of a high data array, distributed by cluster-ant algorithm, prevails over others.

Thanks to the presented figures, we can conclude which algorithm is more suitable for a typical model. This makes it possible to accelerate the execution of a CA on an existing pool of computing units.

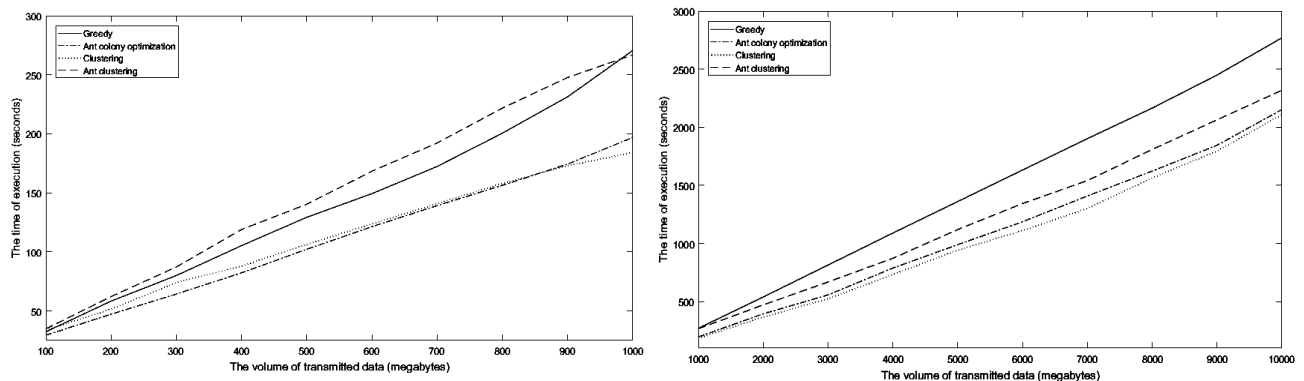


Fig. 3. Dependence of the time of execution of CAs from the allocation algorithm

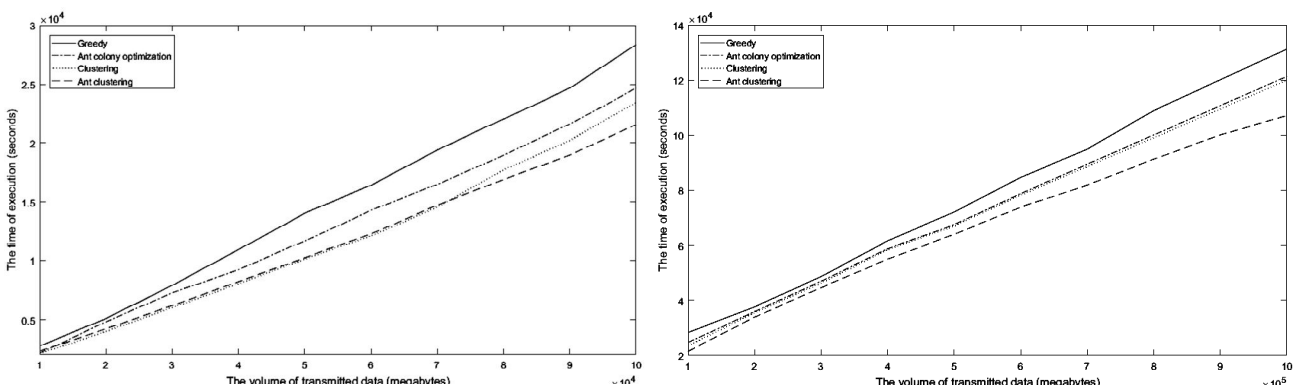


Fig. 4. Dependence of the time of execution of CAs from the allocation algorithm

2. Comparison of methods of distribution of resources of CAs, depending on the complexity of the graph. Each CA consists of a number of computational tasks DS_{mn} , which are represented by an acyclic graph [10]. Therefore, there is a need to take into account the influence of the complexity of the graph and its number of tasks for the implementation of the CA. To evaluate the quality of resource allocation, we use the resource utilization function. The dynamics of the distribution of resources is presented in Fig. 5, a.

With the presented data, we can conclude that the distribution efficiency varies depending on the

complexity of the graph. Starting with 15 computing blocks, priority is given to such algorithms as cluster and ant-clustering.

3. Dependence of the level of utilization of CA resources depending on their volume. We will carry out demonstration the dynamics of change in the level of utilization of resources, depending on the volume of data of the breakaway data that are allocated. To do this, it was decided to monitor the change of utilization at the stages of changing the efficiency of the presented allocation algorithms in Fig. 5, b, c, d.

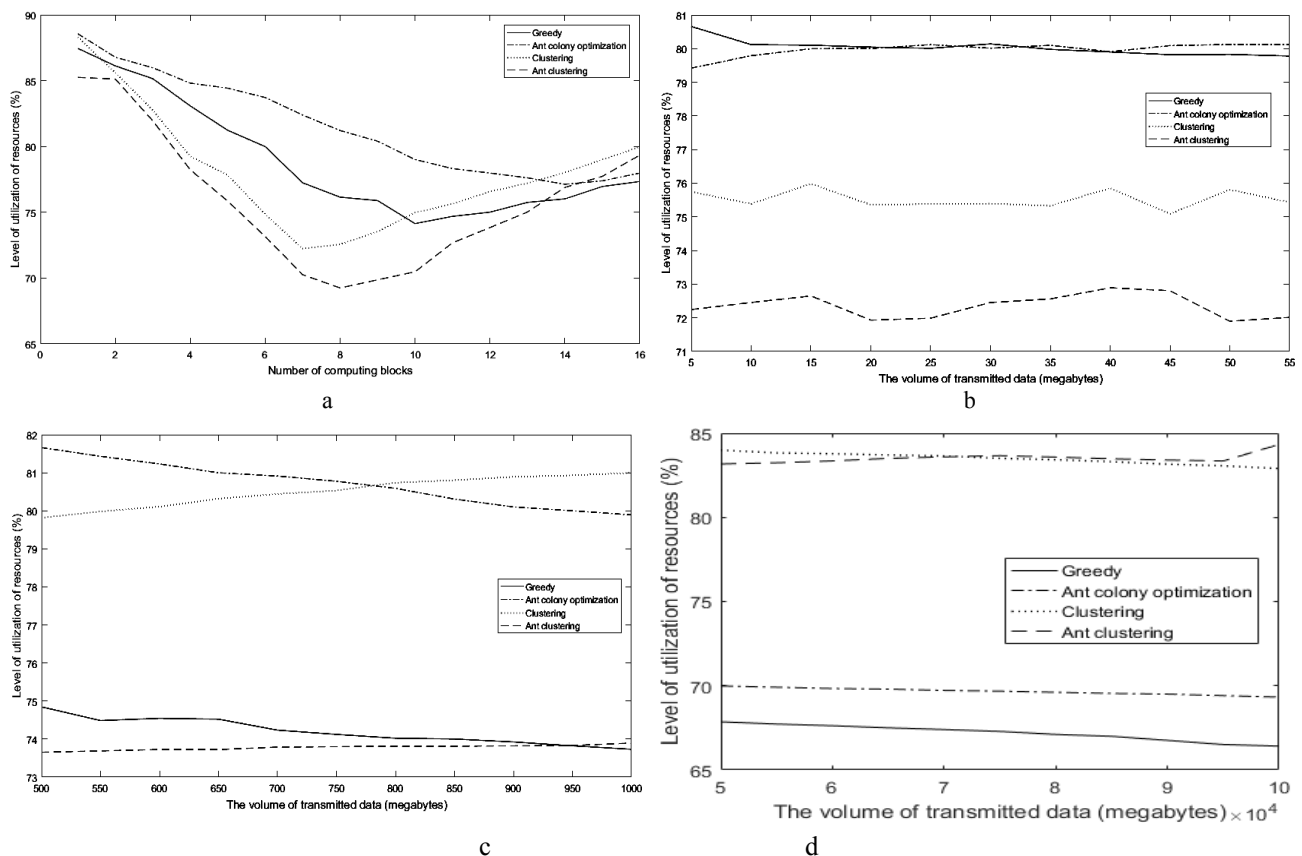


Fig. 5. The value of utilization of resources depending on:
a – the complexity of the graph of the CAs, b, c, d – the volume of the CA

On Fig. 5, b, c, d the value of utilization of resources varies on the boundaries of the change in the distribution of resources by different algorithms. This allows you to track the quality of resource allocation using the resource utilization feature.

Conclusions

The efficiency of existing dynamic planning algorithms that are related to the class of greedy algorithms is considered. The boundary of effective planning of algorithms based on clustering approach is revealed.

The efficiency of using ant colony optimization algorithm and algorithms of cluster approach using ant colony optimization algorithm is shown.

The simulation of the distribution of the composite application is carried out, depending on the complexity of the graph of its construction. The quality of the distribution of the resources of the CA is analyzed, depending on the amount of data transmitted using the resource utilization function.

Further research will be aimed at the development of a method for choosing the distribution algorithm of the CA based on its efficiency.

REFERENCES

1. Bulba, S.S., Davydov, V.V. and Kuchuk G.A. (2018), "Method for Resource Distribution between Composite Applications", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 4 (50), pp. 99-104.
2. Lord P. and Goble C. (2005), "Seven Bottlenecks to Workflow Reuse and Repurposing Sattler", *The Semantic Web – ISW 2005*, pp. 323-337.

3. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N. and Nechausov A. (2018), "Resources Distribution Method of University e-learning on the Hyperconvergent platform", *Conference Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies, DESSERT'2018*, Ukraine, Kyiv, May 24-27, pp. 136-140.
4. Kuchuk, G., Kharchenko, V., Kovalenko, A., Ruchkov, E. (2016), "Approaches to Selection of Combinatorial Algorithm for Optimization in Network Traffic Control of Safety-Critical Systems", *Proceeding of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016)*, pp. 384-389, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/EWDTS.2016.7807655> (last accessed on July 16, 2018).
5. Kuchuk, G., Nechausov, S., Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies*, pp. 266-271, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982> (last accessed on July 16, 2018).
6. Kovalchuk S.V. and Bukhanovsky A.V. (2012), "Second Generation Cloud Computing: Composite Applications, Interactive Systems and Semantic Technologies", *Infocommunication Technologies*, Tarusa, available at: <http://keepslide.com/technology/8702#sthash.YHi3I5Gy.dpuf> (last accessed on July 16, 2018).
7. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficiency of image recognition process: Approach and case study", *Proceedings of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2018*, pp. 593-597, available at: <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201> (last accessed on July 16, 2018).
8. Bulba, S.S. (2016), "Resource-oriented mathematical model of the basic network of a heterogeneous distributed system", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 2 (38), pp. 73-75.
9. Dorigo, M., Di Caro G. & Gambardella, L.M. (1999), "Ant Algorithms for Discrete Optimization", *Artificial Life*, No. 5 (2), pp. 137-172.
10. Khaidukov D.S. (2009), *Application of cluster analysis*, MAKS Press, Moscow, 287 p.

Received (Надійшла) 28.07.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

Моделювання методів розподілу композитного застосунку

С. С. Бульба

Предметом розгляду виступають алгоритми оптимального розподілу існуючого пулу обчислювальних ресурсів між композитними застосунками та алгоритм утилізації ресурсів на обчислювальних блоках. **Метою статті** є аналіз результатів імітаційного та математичного моделювання процесу розподілу ресурсів між композитними застосунками в залежності від варіанту розподілу. **Результати.** Розглянуто ефективність існуючих алгоритмів динамічного планування, які відносяться до класу жадібних алгоритмів. Вони знаходять на кожному кроці локально оптимальне рішення. Виявлена межа ефективного планування алгоритмів на базі кластеризаційного підходу. Показано ефективність використання мурашиного алгоритму та алгоритмів кластерного підходу з використанням мурашиного алгоритму. Проведено моделювання розподілу композитного застосунку в залежності від складності графу його побудови. Отримано залежність часу виконання композитного застосунку від утилізації ресурсів на обчислених блоках. За допомогою функції утилізації ресурсів, проаналізовано якість розподілу ресурсів композитних застосунків в залежності від об'єму даних що передаються на обчислення. **Висновки.** Отримані дані, щодо якості розподілу ресурсів, в залежності від таких параметрів як: час виконання композитного застосунку, об'єм передаваних даних, складність графу побудови. Запропоновано створення методу для вибору оптимального алгоритму розподілу ресурсів між композитними додатками, в залежності від перерахованих параметрів, на базі функції утилізації ресурсів. Це дасть змогу оперативно звільняти обчислювальні блоки гетерогенного середовища, які зайняті обчисленням розподіленої задачі, що пришвидшить обчислення розподілених задач на існуючому пулі обчислювальних блоків.

Ключові слова: композитний застосунок; утилізація ресурсів; жадібний алгоритм; розподіл ресурсів; мурашиний алгоритм; кластеризація; кластерно-мурашиний алгоритм.

Моделирование методов распределения композитного приложения

С. С. Бульба

Предметом рассмотрения выступают алгоритмы оптимального распределения существующего пула вычислительных ресурсов между композитными приложениями и алгоритм утилизации ресурсов на вычислительных блоках. Целью статьи является анализ результатов имитационного и математического моделирования процесса распределения ресурсов между композитными приложениями в зависимости от варианта распределения. **Результаты.** Рассмотрена эффективность существующих алгоритмов динамического планирования, которые относятся к классу жадных алгоритмов, которые находят на каждом шагу локально оптимальное решение. Обнаружен предел эффективного планирования алгоритмов на базе кластеризационного подхода. Показана эффективность использования муравьиного алгоритма и алгоритмов кластерного подхода с использованием муравьиного алгоритма. Проведено моделирование распределения композитного приложения в зависимости от сложности графу его построения. Получена зависимость времени выполнения композитного приложения от утилизации ресурсов на вычислительных блоках. С помощью функции утилизации ресурсов, проанализировано качество распределения ресурсов композитных приложений в зависимости от объема передаваемых данных на вычисления. **Выводы.** Полученные данные по качеству распределения ресурсов, в зависимости от таких параметров как: время выполнения композитного приложения, объем передаваемых данных, сложность графу построения. Предложено создание метода для выбора оптимального алгоритма распределения ресурсов между композитными приложениями, в зависимости от перечисленных параметров, на базе функции утилизации ресурсов. Это позволит оперативно освобождать вычислительные блоки гетерогенной среды, которые заняты вычислением распределенной задачи, что ускорит вычисления распределенных задач на существующем пуле вычислительных блоков.

Ключевые слова: композитное приложение; утилизация ресурсов; жадный алгоритм; распределение ресурсов; муравьиный алгоритм; кластеризация; кластерно-муравьиный алгоритм.

M. S. Dimitrov

Technical University – Sofia, Sofia, Bulgaria

MODELLING AND STUDY OF EVENT-DRIVEN FLOW MOVEMENTS IN THE MANUFACTURING OF WIRE HARNESSES USING ULTRASONIC WELDING FOR WIRES CONNECTION

The development of the common control theory, organization and management of production systems and processes, computer information systems and technology, instrumental environments and development systems require development of new models, structures and management systems of different types of production systems and processes. The purpose of this work is to study production system in order to increase efficiency by developing new models and structures for the management of production system. This work focuses on modeling and development of new information - control over the production structures for connecting wires through the method of ultrasonic welding with a view to the so-occurring trends. It is using Event-Drive flow (stream) models in Matlab. Furthermore it develops and implements study and validation of the information system and event model with Matlab and SimEvents. **Simulation results.** In accordance with the principle examined functional stream in P2 at an application time -0,5h and operation time - 0,6h as well as at obtained simulation results from Fig. 4, 5, 6, 7 and 8 follows that we have a valid realization of EVENT flow model. Since implementation of ultrasonic welding is 0,1h longer than the time of forming application in the internal buffer storage at USW workplace within one shift there will be an asynchronous accumulation of small amounts of cable bundles. Except this, synchronization of produced cable connections gets also disturbed.

Keywords: flow movements; event flow model; ultrasonic welding; production systems.

Introduction

Modeling, i.e. production models of production systems, aims on the one hand to enable their study and determine optimal parameters and structure of the system and other development of efficient algorithms management. When designing the model, all buffer warehouses, material circuits and their characteristics are taken into consideration. Accepted typification, i.e. the use of model elements in description of production processes allows and creates a unified approach to build their patterns of base modules and their study using computer information system technologies, tools and development environment systems. Here is some general considerations about learning of the models. One option is based on process simulation, i.e. the study of its models in order to obtain additional information about the actual process.

In simulation studies using the model production is mimic. Here the impact of basic control values is estimated that defines the rational functioning of the system. The purpose of this work is to study production system in order to increase efficiency by developing new models and structures for the management of production system. The work investigates technological characteristics of manufacturing process for cable components production and represents event flow model of manufacturing process. Furthermore it develops and implements study and validation of the information system and event model with Matlab and SimEvents. Implementation and validation of modules are achieved with Paradox by instrumental environment Database Desktop.

Summary

1. Features of the production process for manufacturing of cable connections

Connecting parts with ultrasound. For inseparable connecting the structural parts through welding various

methods are used. They differ according to the principle of energy import in the welding zone.

In ultrasound-welding energy is imported through elastic UW - vibrations. The materials to be bonded are pressed by external force (welding pressure). Under influence of ultrasound vibrations, contact surfaces are rubbing and the temperature in the welding zone increases. It comes to plastic deformation, diffusion, recrystallization, melting and other phenomena, thanks to which the parts are connected inseparably. As a result of this operating principle actions can be connected to each other as conducting as well as non-conductive or heterogeneous materials. Order is issued with a certain S number.

Transporter of production 3 (P3) where the cable forms are assembled issue an order. This is realized when transporter from P3 goes to P2 and writes on the whiteboard S-number of cable forms which needs for corresponding wire harness reference number which will be produced. In printed order there are two bar codes: FULL and EMPTY. When P2 transporter supplies cables to corresponding working position, it scans FULL bar code. When P3 transporter supplies corresponding line with required cable forms, it scans EMPTY bar code.

Receiving a request. Once P3 transporter writes a request on the whiteboard, P2 transporter reads the order on the computer and prints it. In the order all S-numbers of cables included into the cable form is reflected. Once the order is printed, P2 transporter checks which cables are needed for the welding joint. P2 transporter reads a request, where it's written which cables needs to be supplied to working station.

Cable supply. After P2 transporter goes to the wires storing area(warehouse). In this area there are the structures which are identified by a number (the number corresponds to the quantity of connected wire harnesses). Transporter takes necessary wires for cable

form in accordance with the order and comes back to P2 to supply the necessary wires to respecting working stations where is producing the cables forms through ultrasonic welding. Cable according to request form and return to P2 to deliver the necessary cables of the working position, wherein the produced cable shapes such as are associated cables at one point by ultrasonic welding. Where cables are attached is called weld.

When transporter of P2 charging cables appropriate working position, scan the label of each bundle cable. Since each bundle cable has S number. This is done to the system to show that this Cable is low, so that in turn automatically be stated (generated) in order Production 1 (P1) and cutting and crimping expended cables in P2. After working load place with cables, conveyor scan ordering FULL bar code, which means that the charging work position and filled the order. It started working operator for production cable forms. The operator takes the cables on the left and right of worktable remove insulation, puts the leads(wire strands) of the jaws of the machine, position the wires with the jaws of the machine, start the welding process by pressing the button / pedal for welding. Proceeds welding process connection of copper conductors (creep, diffusion, recrystallization), which are connect the wires. It follows visual assessment by operator.

If the criteria for visual assessment are covered, operator isolate the welding joint (splice) with adhesive tape or heat shrink tube with glue. If the welding joint(splice) does not cover required standards for visual assessment, then the operator removes the welding joint

with whole cable form from the total batch with cable forms and records the defect.

Winding and attaching the manufactured cable forms the designated temporary stay place.

Transporter of P2 takes the cable and forms them transported to a warehouse in batches cable forms that It is located in the storage area of various types Cable forms. In the storage depot of the cable forms having a plurality of structures which are numbered. Cable conveyor puts shaped structure which is identified with the same S number as is cable form. To bundle cable forms is attached printed order.

Transporter of P3 goes into storage of cable forms checked structures, if no compounds goes and S record order number if there are structures cable form.

Production 3 (P3), which are mounted cable forms. After loading the line scan order, which is attached to the bundle cable forms bar code EMPTY. This is done in order to take account of the system that the line is loaded with the necessary cable form and generate new orders for P2. In P2 there where printer automatically after scanning a bar code EMPTY by transporter in P3 print order in P2. After prints contract follows the same procedure charging cables, and the production of cable forms.

2. Development of the event - streaming model of manufacturing process

Defining the information and functional objects of manufacture. Information objects - orders, materials, ..., submit and process of accumulation associated with different types of flows. Information objects (Fig. 1):

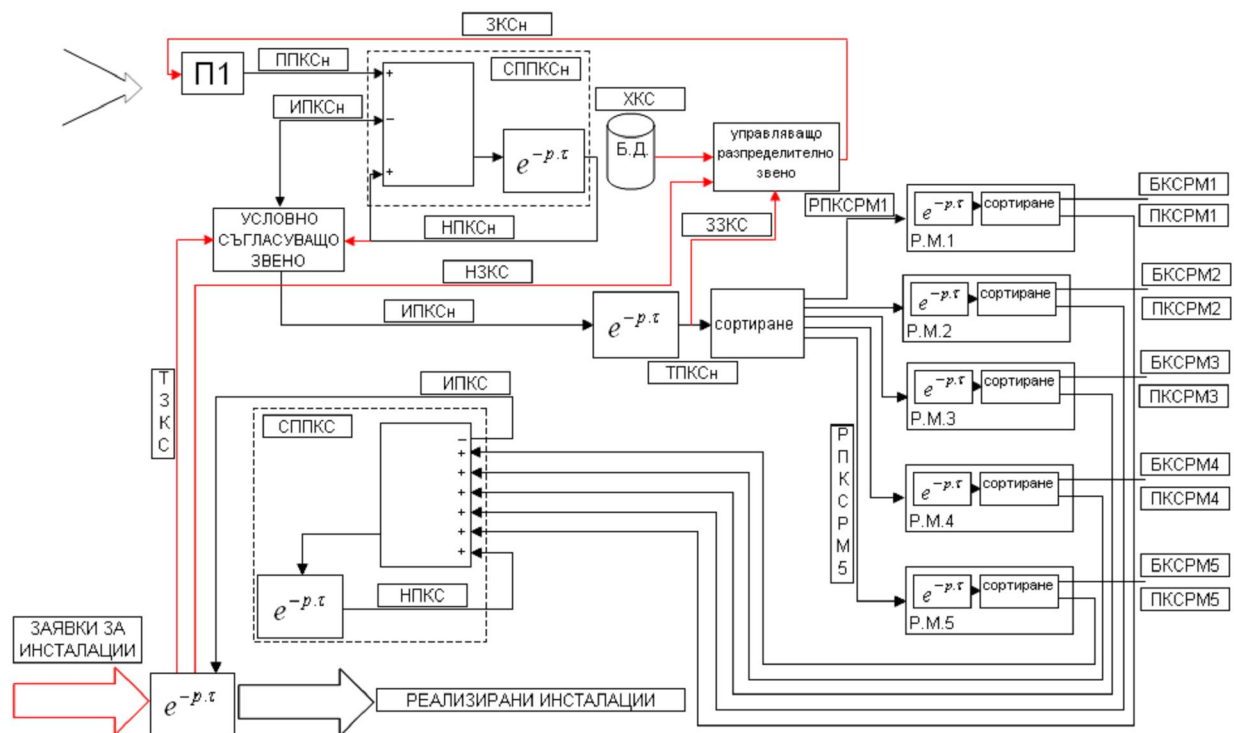


Fig. 1. Event flow model of production process in P2 area (pre-assembly - ultrasonic wire welding)

IBCB - incoming batch of cable bundle;
 DBCB - derived batch of cable bundle;
 ABCB - accumulated batches of cable bundles;
 TBCB - transported batch of cable bundles;

DBCWP1 - distributed(delivered) batch of cable bundles in working position(workplace with machine) 1;
 PBCFWP1 - produced(manufactured) batch cable forms(ultrasonically joined wires) of Working position 1;

SCFWP1 - scrapped cable forms of Working position 1;

ABCF - accumulated batches cable forms (ultrasonically joined wires);

CRCF - current request for cable forms (welding joint);

IQCF - initial query(request, order) for cable forms (welding joint);

LQCF - loaded query(request, order) for cable forms (welding joint);

QCB - query(request, order) for cable bundles;

CHCF - characteristics of the cable forms (welding joint);

Functional objects - welding distribution, materials and orders, stripping, cutting (P1), installation (P3);

SIBCB - a storehouse(warehouse) of incoming batches of cable bundles;

SIBCF - storage of the incoming batches cable forms (welding joints).

3. Design of information – control system. Basic functions, input - output connections, modeling and general structure of information – control system

In line with the event-flow model of the P2 defined functions of information - control system in the industry, the need for the submission of summaries towards - high production levels (Head of process, production manager ...) to define this input - output interactions Information system (Fig. 2).

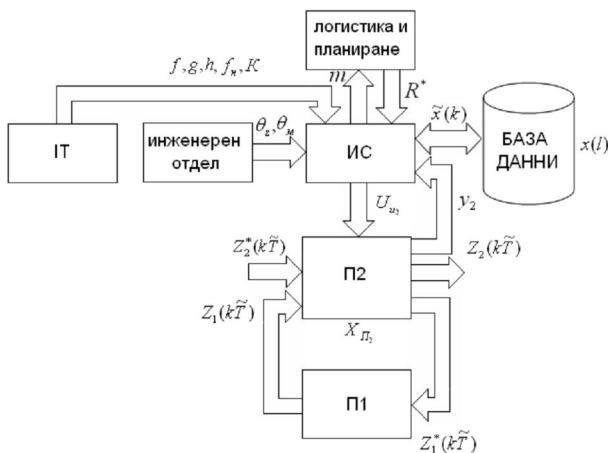


Fig. 2. It presents the structure of Input - Output connections:

R^* – request for summary information;

m – Reference aggregated product

4. Description of space in the state of P2.

The equation of state:

$$X_{P_2}(k+1\tilde{T}) = f(X(k\tilde{T}), U_{U_2}(k\tilde{T}), Z_2^*(k\tilde{T}), \theta_M); \quad (1)$$

the equation of controlled output processes:

$$Z_2(k\tilde{T}) = g(X_{P_2}(k\tilde{T})); \quad (2)$$

the equation of measurable outputs:

$$y(k\tilde{T}) = h(X_{P_2}(k\tilde{T})), \quad (3)$$

where I – intensity; q - parameters of the event model (evaluations);

z, q - parameters of the devices quantitative function (Ratings);

U - managing impacts from IS to P2;

y – bar code reader (scanner);

$P_2 X$ – state vector of P2 (a set of current states of the product streams, which completely determines manufacture 2 in a point in time and the next minute under certain selectors and disturbances);

h - operator representation of the relationship of P2 measurable product streams on the state of P2.

5. Control functions of the Control System (CS)

In order to management implementation on the base of assessment of current state in P2 considering the dynamic nature of production management is presented in the state space.

When reporting the presence of feedback, it will be characterized by two subsystems with observer (which evaluates only those of state variables of P2, which have regard to the final production of the cable connection).

The equation of the observer

$$\tilde{x}(k+1) = f_h(\tilde{x}(k), y(k)); \quad (4)$$

equation management

$$U_{U_2} = K.\tilde{x}(k), \quad (5)$$

where K – matrix of feedback condition

Defined functions of information - P2 management system are as follows:

1) assessment of the status and parameters of assembly movements and functional objects. Is given by entering information via barcodes and barcode reader (scanner);

2) forming the selectors control actions to P2 (print orders for cable connections, based on assess the condition of assembly movements) with a view realizing the steps of the movements of production flows;

3) the setting of the initial models functional and information processes (objects);

4) introduction of adjustments in the structure of production model in changing the nature of product and production.

Q - a function of the load of process equipment;

T – function of stocks.

$Z * kT$ - defining (disturbing, uncontrolled) impact on P2.

It consists of two components and parameters quantity of articles; $Z * kT$ - asking the impact to P1; $Z kT$ - Vector of the controllable output processes (product streams P2), $Z kT$ - starting product stream P1; f - operator for the transition from the old (2) $X k P$ to the new state (1); $2 X k P$ to P2.

When reporting management and upcoming (disturbing) current impacts: g - operator responsible for representation of the connection of output product streams P2 from the condition of P2; $x(l)$ - state of the manufacturing process for reporting period (for a certain time interval month, year); y - vector of measurable product flows;

6. Methodology for implementation and validation of the draft information system and event model.

Implementation of information system is implemented iteratively. On the basis of the developed project of information system is sequentially carried:

1. The physical database;
2. Applications for a test of the validity, functionality and integrity of developed database;
3. Realization of special projects (applications) for check of validity and functionality developed projects of client applications for realization of measurement and management event-driven flows, summarizing and providing information to logistics and planning department;
4. Implementation and verification of functionality and validity of the application server and general network with client applications;
5. Using in operating conditions of information system. Evaluation and validation of information system for development event management.

Simulation implementation, testing and validation of event-flow model. Realization of event-flow model. On the basis of the instrumental toolbox of Matlab and SimEvents and developed EVENT flow model of the P2 hierarchical model Simulink was implemented.

7. Study and validation of the model. Features in P2 assembly movements.

On the basis of event requests from P3, P2 management logics generates a request for cable bundles to P1.

When cable bundles are being produced in P1 and the request is loading from P3, working position for splice joints is loading.

Application of P3 is loaded working position US welding.

Requested cable installations from P3 (Fig. 3).

Realized cable bundles P1 (Fig. 4).

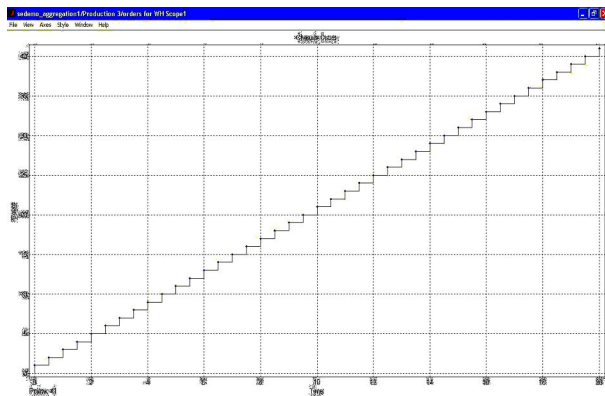


Fig. 3. Shows generation of requests

For a certain operating time given splice (joints) are produced.

Thus produced wire cables are accumulated in the buffer storage.

Until supply of the cable forms to the working positions has a higher frequency than realization of splice joints cable bundles are accumulated in the buffer warehouse.

Staying in P2 buffer storage for following ultrasonic welding (Fig. 5). Produced splice joints – Fig. 6.

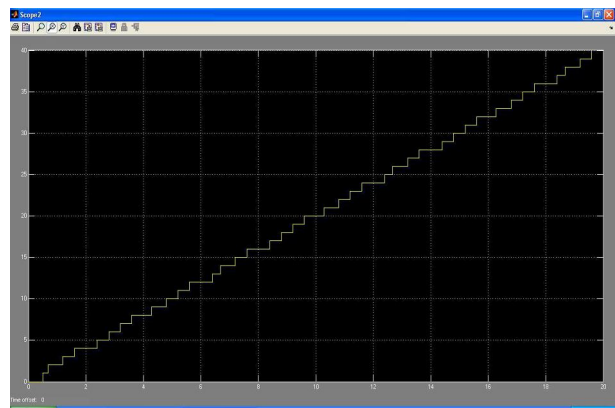


Fig. 4. Shows produced cable bundles.

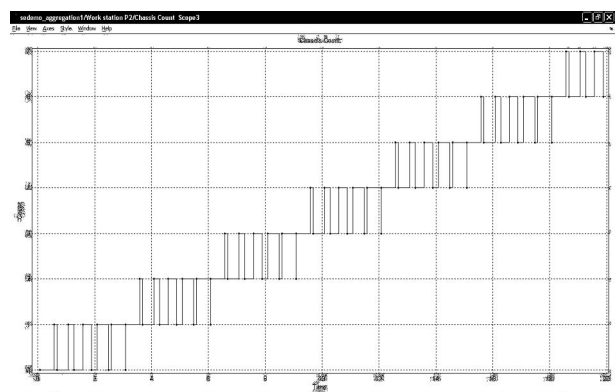


Fig. 5. Shows the temporary buffer storage in P2 – waiting for ultrasonic welding

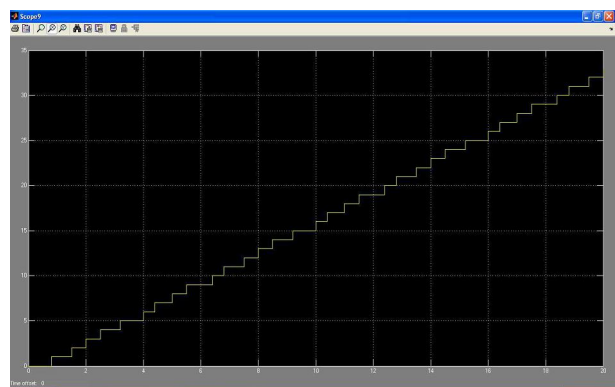


Fig. 6. Shows produced splices - welding joints

Conclusion

In accordance with the principle examined functional stream in P2 at an application time -0,5h and operation time - 0,6h as well as at obtained simulation results from Fig. 3 – 6 follows that we have a valid realization of EVENT flow model.

Since implementation of ultrasonic welding is 0,1h longer than the time of forming application in the internal buffer storage at USW workplace within one shift there will be an asynchronous accumulation of small amounts of cable bundles.

Except this, synchronization of produced cable connections gets also disturbed.

REFERENCES

1. Moroz, A. (1987), *Course Theory of System*, Vysshaya Shkola, USSR, Moscow.
2. Zhivkov D. (1989), *Modeling and optimization of production processes*, Technical University, Bulgaria, Sofia.
3. Azalov, P. (1991), *Database. Relational and object approach, technique*, Bulgaria, Sofia.
4. Arnaudov, and D. Noninska, I. (1992), *Database Technique*, Bulgaria, Sofia.
5. Madzharov, N. (1999), *Linear Control Systems*, Technocal University - Sofia, Bulgaria, Sofia.
6. Borland Software Corporation (2002), *Borland Delphi Help*, Version 7.0.
7. The Mathworks, Inc. (2006), *Matlab Help*, Version 7.3.0.267.
8. The Mathworks, Inc. (2010), available at: <http://www.mathworks.com> (last accessed March 15, 2018).
9. Borland Software Corporation (2010), online: <http://www.borland.com> (last accessed March 15, 2018).
10. Dimitrov M. (2010), Thesis on *Modeling and analysis of movements in the Stream business*, Technical University - Sofia, IPF-Sliven.
11. Dimitrov, M. (2011), *Modelling and Study of Flow Movements in the Manufacturing of Cable Forms by Ultrasonic Welding*, SAI, John Atanasoff Society of Automatics and Informatics, Bulgaria, Sofia.

Надійшла (received) 21.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 15.08.2018

Моделювання та дослідження процесу програмно-керованого виробництва джгутів з використанням ультразвукового зварювання для з'єднання проводів

М. С. Дімітров

Практичний розвиток завдань загальної теорії управління, організації та управління виробничими системами та процесами, комп'ютерними інформаційними системами і технологіями, інструментальними середовищами і системами розробки вимагає розробки нових моделей, структур і систем управління різних типів виробничих систем та процесів. **Метою даної роботи** є вивчення виробничої системи з метою підвищення ефективності за рахунок розробки нових моделей і структур для управління виробничою системою. **Результати дослідження.** В роботі досліджуються технологічні характеристики виробничого процесу для виробництва кабельних компонентів і представлена модель потоку подій виробничого процесу, зокрема, запропонована модель процесу контролю виробничих структур при з'єднанні проводів методом ультразвукового зварювання. При розробці моделі в Matlab використовувався механізм потокових моделей Event-Drive. Крім того, розроблено і реалізовано програмне забезпечення для вивчення і перевірки інформаційної системи і моделі подій за допомогою інструментів Matlab і SimEvents. Реалізація та перевірка модулів здійснюється за допомогою сервісу Paradox інструментального середовища Database Desktop. При моделюванні враховано особливості виробничого процесу для виготовлення кабельних з'єднань, досліджено різні методи по показнику імпорту енергії в зоні зварювання. **Висновки.** В результаті досліджень запропоновано методологію реалізації та перевірки проекту інформаційної системи процесу програмно-керованого виробництва джгутів з використанням ультразвукового зварювання для з'єднання проводів. Для її функціонування необхідно виконати такі етапи: створення фізичної бази даних; створення додатка для перевірки достовірності, функціональності і цілісності розробленої бази даних; реалізувати спеціальні проекти для перевірки достовірності і функціональності розроблених проектів клієнтських застосунків.

Ключові слова: рух потоку; модель потоку подій; ультразвукове зварювання; виробничі системи.

Моделирование и исследование процесса программно-управляемого производства жгутов с использованием ультразвуковой сварки для соединения проводов

М. С. Димитров

Практическое развитие задач общей теории управления, организации и управления производственными системами и процессами, компьютерными информационными системами и технологиями, инструментальными средами и системами разработки требует разработки новых моделей, структур и систем управления различных типов производственных систем и процессов. **Целью данной работы** является изучение производственной системы с целью повышения эффективности за счет разработки новых моделей и структур для управления производственной системой. **Результаты исследования.** В работе исследуются технологические характеристики производственного процесса для производства кабельных компонентов и представлена модель потока событий производственного процесса, в частности, предложена модель процесса контроля производственных структур при соединении проводов методом ультразвуковой сварки. При разработке модели в Matlab использовался механизм потоковых моделей Event-Drive. Кроме того, разработано и реализовано программное обеспечение для изучения и проверки информационной системы и модели событий с помощью инструментов Matlab и SimEvents. Реализация и проверка модулей осуществляется при помощи сервиса Paradox инструментальной среды Database Desktop. При моделировании учтены особенности производственного процесса для изготовления кабельных соединений, исследованы различные методы по показателю импорта энергии в зоне сварки. **Выводы.** В результате исследований предложена методология реализации и проверки проекта информационной системы процесса программно-управляемого производства жгутов с использованием ультразвуковой сварки для соединения проводов. Для ее функционирования необходимо выполнить такие этапы: создание физической базы данных; создание приложения для проверки достоверности, функциональности и целостности разработанной базы данных; реализовать специальные проекты для проверки достоверности и функциональности разработанных проектов клиентских приложений.

Ключевые слова: движение потока; модель потока событий; ультразвуковая сварка; производственные системы.

A. Kovtun, V. Tabunenko

National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

THE METHOD OF STRENGTHENING OF DURABILITY OF A MORTAR BARREL

The subject of the article is an assessment of the possibility of improving the security of the personnel of units during the operation of mortars. **The purpose of the article** is to study the possibility of increasing the strength of mortar barrels. **The task** is to analyze the causes of the increased deaths of mortar fire teams during the operation of mortar barrels. Identify the main areas of work to prevent mine explosions in the mortar channel and identify ways to eliminate them by improving the methods of combat use; keep security measures during the shooting; increase the technical training of the personnel of the units; development and use of new technical solutions for the development of mortars. The work considers and suggests an analytical method for increasing the strength of mortars, based on the application of the principle of combined structures. As a result of the researches the model of definition of the resulted pressure and limiting pressure in the combined cylinders is offered. The results of calculating the limiting pressure in cylinders are given in the paper. **Conclusions:** the article investigates the possibility of increasing the strength of mortars. The theory of combined cylinders was proposed to increase the strength of mortars. The calculation of the internal pressure for the construction of the mortar in the form of combined cylinders is carried out. Further studies are related to the fact that the theory of combined cylinders creates prospects both in the development of high-pressure technology and in the creation of lighter and more stable structures.

Keywords: a mortar barrel; a powder gases; a rate of fire; a cylinder; a caliber; a cylinder radius; a security measures during the shooting; a pressure in the barrel construction; a combined structures; an internal stress and ultimate pressure; a fracture.

Introduction

Despite the intensive development of weapons on new physical principles, advanced modern weapons are in the arsenal of modern armies. By boosting the strength of the army, the commandment of the armed forces of different countries pays much attention to the improvement of weapons, including mortars. When conducting combat operations, mortars should be actively used in the interests of small units of the tactical level (platoon-company-battalion) together with other means of armed struggle to defeat the enemy's manpower and equipment. It is believed that they will be the main means of fire support for company tactical groups on the battlefield [1].

In recent decades, various countries are working to improve mortar weapons: their weight and weight of ammunition is reduced; improved tactical and technical characteristics; homing mines are created; universal fuses used in various systems are being developed; Improved fire control system and tactics of action.

Analysis of the problem and formulation of the problem. Experience in the combat use of mortar weapons in local wars and international conflicts of the late XX - early XXI century. showed that mortars, as a class of weapons, were widely used. It was this armament that became one of the main artillery means of fire support for the infantry units of the tactical level (platoon-company-battalion) [2]. This is due to the following advantages of mortars [3]:

- the mortar has a sufficiently high accuracy and range of fire, ensuring a reliable defeat of the enemy's manpower, weapons and unarmored equipment in battle;

- the mortar gives the possibility of a relatively hidden fire (a closed fire position and a small force of sound during a shot make it difficult for the enemy to detect the calculation);

- a high rate of fire - from ten to twenty rounds per minute provides a high density of fire in the critical moments of combat;

- the relatively low weight of weapons and ammunition increases the maneuverability of infantry units and reduces their dependence on the fire of supporting artillery, which is not always effective due to the time spent on passing teams and the possibility of hitting their troops with a reduced radius of safe disposal.

However, the increasing number of deaths of mortar combat crews (during exercises) with the rupture of barrels pose new challenges for the developers of this type of weapon to improve the safe operation of mortars (Fig. 1).

Based on the results of the work of the commissions investigating the deaths of mortar fire teams, the main direction to prevent the explosion of mines in the mortar barrel during double loading is:

- improvement of methods of combat employment and exploitation of mortars;
- observance of security measures during the shooting;
- increase of technical training of personnel;
- use of new technical solutions in the development of mortars.

It should be noted that methods of increasing the strength of the barrels are not exhausted [4].



Fig. 1. A mortar barrel rupture

The classic mortar consists of a barrel, bipods are devices for giving the barrel the desired elevation angle (for example, a bipod) and a base plate transmitting the impulse to recoil to the ground (Fig. 2).

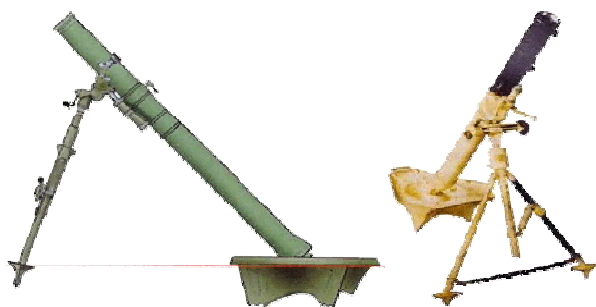


Fig. 2. Appearance of a classic mortar

The barrel is the main part of a firearm intended for pushing a mine with a certain initial velocity and providing it with a stable flight in a given direction. The barrel is a pipe on a support, closed on one side, the bottom of which is the drummer. When a mortar mine is placed in the barrel, the drummer ignites the propellant charge. His burning pushes the projectile out of the barrel (Fig. 3). The thermal energy from the combustion of the powder charge determines the parameters of the internal ballistics: the speed of the mine when it moves in the barrel channel, the direction and initial velocity of the mine at the time of its departure from the barrel [5].



Fig. 3. A moment of a fire of mines from the barrel of a mortar

The main functions that the barrel must perform [6]:

- creation of conditions for complete combustion of the powder charge;
- mine-making necessary flight direction;
- setting the required initial speed of flight.

Mortar barrels are made of carbon steel with improved thermal conductivity.

When the charge is combusted, the powder gases in the barrel of the weapon develop a very high pressure. The lowest pressure in the muzzle of the barrel at the time of the launch of the mine is equal to several hundred atmospheres.

In order for the barrel to withstand such a pressure, during its manufacture, much attention is paid to the strength of the barrel.

The strength of the barrel depends on the thickness of its walls and the quality of the metal.

Given the practical operation of the mortar, the thickness of the walls of the barrel is calculated with such a margin of strength that it can withstand the pressure of the gases is much greater than normal. Therefore, the strength of the barrel always exceeds the normal pressure of the powder gases by several hundred and even thousands of atmospheres.

When firing the barrel walls, resisting the pressure of gases, expand. The strength of the barrel is calculated so that the metal is subjected only to elastic expansion deformations: at the gas pressure it expands, and after the pressure ceases to take its original dimensions. If, however, the pressure in the barrel exceeds the value to which the barrel strength is calculated, then a residual deformation will occur and the barrel will be blown or broken.

In the scientific literature, much attention is paid to the determination of stresses arising in the walls of the barrel during a shot [7, 8, 9].

Depending on the level of prepressure, which appears in the walls of the barrel before the shot, the barrel are distinguished and they are not milled. Before the shot in the walls of the non-fretting barrel, there is no specially called prestress. Only small stresses arising during production processes, for example heat treatment, can appear in it. Non-fretting barrels are widely used in small arms and artillery weapons, with the exception of barrels under the influence of very high pressure (above 300 MPa) [8].

The non-fretting barrel consists of winding several layers of steel wire on the pipe of the barrel, or in putting on rings, liners or pipes heated to a temperature of 700-7500 K. After cooling, the reinforcing elements compress the barrel tube, causing in it a preliminary radiation pressure directed to the opposite side of the stresses arising from the pressure of the powder gases during the shot. Fretted barrels (multilayered) were used in guns in which the maximum pressure of powder gases exceeded 400 MPa. They could withstand the load (pressure) by 50% greater than the unfretted barrels.

Currently, mainly used autofretted barrels, in which the increase in strength of the barrel is achieved by strengthening the material and prestressing in the walls of the barrel. Auto-fretting occurs as a result of an increase in the plasticity boundary of the inner layers of the barrel bore, which occurs as a result of a load caused by an internal pressure (for example, created hydraulically) of 1000-1400 MPa (about twice the maximum pressure of the powder gases). Then deformation of the inner layers of the barrel occurs constantly (reinforcement of the material), and external – elastic. Deformable elastic layers cause in the layers, deformed constantly, preliminary stresses directed in the opposite direction from the stresses arising during the shot.

Calculations of stresses in thick-walled cylinders were carried out by the scientists G. Lam and A.V. Gadolin, formulas for determining the dimensions of multilayer cylinders, calculated by the theory of strength of A. Guber, R. Mises, and G. Henki under the

influence of internal pressure, were proposed by I.M. Naidich and A.M. Rozen [8, 9].

Different researchers have proposed various methods of increasing the strength of the barrel [6-9], confirmed by experimental data.

However, the proposed methods do not allow to ensure the safety of calculations during the mine explosion in the barrel channel.

Thus, the data presented indicate that the theory of the mechanical strength of mortar barrels has not received its full completion, the processes occurring in this case have not been fully studied. Further improvement of mortar barrels can be achieved by applying the optimal combination of new materials and modern structural and circuit solutions.

A complex experimental and calculation study of the features of the process of mine explosion in the barrel channel is the most important condition for reliable forecasting of calculation results and can significantly increase the efficiency of design solutions. Such a scheme of research (study of the behavior of structural elements under real dynamic loading conditions, numerical and experimental modeling) allows us to create the basis for the development and justification of recommendations for rational design, and the choice of materials, their structural state, which increase the efficiency of their use in structures.

The scientific basis for studies of the loading process of a mortar barrel during a shot is: the theory of elasticity, plasticity and strength of materials, the theoretical basis for ensuring the survivability of weapons in combat operations, the theory of the reliability of weapon models, mathematical modeling, mathematical planning of experiments, methods of bonded structures, coupled cylinders.

The purpose of the article is to study the possibility of increasing the strength of mortar barrels.

Main part

The following forces act on the barrel of a mortar during a shot [6]:

- force of pressure of powder gases, causing stresses and deformations in the walls of the barrel;
- axial and transverse components of the friction force of the outer shell of the mine on the inner surface of the bore of the barrel;
- the forces of inertia arising in the walls of the barrel due to the rapid increase in the pressure of gases;
- Axial forces due to the method of securing the barrel.

A precise account of all these forces makes the solution of the problem of calculating the barrel for strength difficult. Therefore, when calculating the barrels for strength, a number of assumptions make it possible to reduce the difficult problem of calculating the barrel to the calculation of a thick-walled cylindrical tube. These assumptions include the following:

- the friction forces of the outer shell of the mine on the surface of the barrel channel cause negligibly small axial stresses in the walls of the barrel;
- loads experienced by the barrel, are static in nature with the shot;

– the barrel material is homogeneous and isotropic, the pressure at each point is normal to the surface, the shape of the section remains constant during deformation, and any cross-section remains flat.

The determination of stresses arising in the construction of a mortar barrel during a shot is based on the theory of calculation of the strength of thick-walled cylinders [8, 9, 10].

Consider the process of firing from mortar when an internal pressure arises in the barrel p_b (external pressure $p_n=0$). We use the known materials of the formula [9,10] to calculate the normal stresses in the tangential σ_θ and radial directions σ_r :

$$\sigma_r = \frac{R_B^2}{R_H^2 - R_B^2} \left(1 - \frac{R_H^2}{r^2}\right) \cdot p_B;$$

$$\sigma_\theta = \frac{R_B^2}{R_H^2 - R_B^2} \left(1 + \frac{R_H^2}{r^2}\right) \cdot p_B,$$

where R_B – internal barrel radius;

R_H – outer barrel radius.

Note that radial stresses σ_r in this case are everywhere compressive, and circumferential σ_θ are everywhere tensile (that is, $\sigma_1 = \sigma_\theta$, $\sigma_3 = \sigma_r$) and reach the highest values on the inner surface of the cylinder ($r = R_B$):

$$\sigma_r = -p_B;$$

$$\sigma_\theta = \left(1 + \frac{R_B^2}{R_H^2}\right) \left/ \left(1 - \frac{R_B^2}{R_H^2}\right) \right. \cdot p_B. \quad (1)$$

Let us write the strength condition for the third theory of strength:

$$\sigma_{\text{экв.3}} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma].$$

Taking (1) into account, we find that

$$\sigma_{\text{экв.3}} = 2 \left/ \left(1 - \frac{R_B^2}{R_H^2}\right) \right. \cdot p_B \leq [\sigma].$$

We determine the allowable internal pressure in the cylinder with an unlimited increase in the wall thickness, that is, for $R_n \rightarrow \infty$. In this case

$$\sigma_{\text{экв.3}} = 2 \cdot p_B \leq [\sigma];$$

$$p_B = \frac{[\sigma]}{2}.$$

As can be seen from the last expression, starting with a certain internal pressure $[p_e]$, increasing the wall thickness of the cylinder ceases to be an effective way to increase strength, the allowable pressure tends to half the permissible voltage. Thus, the maximum permissible pressure for a single cylinder (barrel) can not be more than half the allowable voltage. Given that the ultimate strength of the best weapon steels is 1000 MPa [6], the maximum permissible pressure for a single barrel is 500 MPa (5000 атм). When a mine explodes, the pressure

in the barrel reaches a value (5-30) GPa (50-300 thousand atm), a single barrel will be broken [11].

Further increase in strength is possible either through the use of stronger materials (increase $[\sigma]$) or through measures aimed at creating external pressure on the outer surface of the barrel. For this, for example, it is possible to make the cylinder compound, and its inner layer must be pressed with interference into the outer layer, thereby creating an external pressure on the surface of the inner layer [8, 9].

However, the initial tightness is one of the widely known ways to improve the performance of structures, in general, and the strength of the barrels, in particular. A. Guber has found a way to obtain the same result as in compound cylinders without a gap, not a heated nozzle with interference, but by forming between the cylinder components a gap into which a gaseous or liquid filler is injected under pressure. The theory of combined cylinders was developed by V.I. Zayarnyi [8].

Consider the construction of a mortar, in which instead of one thick-walled cylinder (barrel) several combined ones are used, the pressure between the walls of which can vary. The permissible pressure in the inner cylinder (barrel) in this case is determined by the formula [8]:

$$p_B = \sigma \cdot \frac{C^2 - 1}{2 \cdot C^2 \cdot (1 - K_P)},$$

где $C = \frac{R_H}{R_B}, \quad K_P = \frac{p_H}{p_B}.$

For the outer cylinder:

$$K_{P0} = \frac{p_{H0}}{p_{B0}} = 0.$$

and the allowable pressure will have the form [8]:

$$p_0 = \sigma \cdot \frac{C_0^2 - 1}{2 \cdot C_0^2}.$$

For any intermediate cylinder, the allowable internal pressure is written as:

$$p_{Bi} = \sigma \cdot \frac{C_i^2 - 1}{2 \cdot C_i^2 \cdot (1 - K_{Pi})}.$$

Allowable internal pressure in the inner cylinder (barrel) with n cylinders is obtained by the formula:

$$p_B = \sigma \cdot \frac{C^2 - 1}{2 \cdot C^2} + \sum_{i=1}^{n-1} \sigma_i \cdot \frac{C_i^2 - 1}{2 \cdot C_i^2 (1 - K_{Pi})} + \sigma_0 \cdot \frac{C_0^2 - 1}{2 \cdot C_0^2}.$$

From this formula it follows that the value of the internal pressure p_B depends on: the value of the ratio C of the outer radius to the internal, the value of the ratio of the external pressure to the internal pressure, the

magnitude of the permissible voltage and the number of cylinders. The amount of permissible voltage depends on the properties of the material, the operating conditions of the cylinders and the loading method.

For aligned cylinders with

$$R_H \rightarrow R_B, \quad C \rightarrow 1,$$

permissible pressure regardless of the magnitude K_P tends to zero. If

$$R_H \rightarrow \infty, \quad C \rightarrow \infty,$$

to the permissible pressure is taking a number of values

$$p_{Bi} = \frac{\sigma}{2 \cdot (1 - K_P)}.$$

depending on the size K_P .

When $K_P = 0$, we get the result for a single cylinder. If K_P tends to 0.5, then the allowable internal pressure for the superimposed cylinder is equal to the allowable voltage.

Determine the value of the internal pressure in the barrel for the design of the mortar in the form of aligned cylinders with the following initial data: the internal radius of the barrel of the mortar

$$RBC = 0.06 \text{ m} = 60 \text{ mm};$$

outer radius of the mortar barrel

$$RHC = 0.07 \text{ m} = 70 \text{ mm};$$

internal radius of the first combined cylinder

$$RB1 = 0.105 \text{ m} = 105 \text{ mm};$$

outer radius of the first co-located cylinder

$$RH1 = 0.115 \text{ m} = 115 \text{ mm};$$

(the hydraulic gaps between the cylinders and their thickness are the same),

$$C = 1.5; \text{ when } K_P = 0.9; [\sigma] = 1000 \text{ MPa}.$$

The formula for determining the maximum pressure for $K_P = 0.9$ has the form [8]:

$$p_{max} = 5 \cdot \sigma \cdot \left(1 - 1/C^2\right) = 3 \cdot \sigma = 3000 \text{ MPa}.$$

Assuming that the internal pressure during the explosion of a mine in the barrel of 15,000 MPa, the design of the mortar will consist of 5 aligned cylinders.

Conclusions

1. The article investigates the possibility of increasing the strength of a mortar barrels.

2. It was proposed to use the theory of combined cylinders to increase the strength of a mortar barrels.

3. The calculation of the internal pressure for the construction of the mortar in the form of combined cylinders is carried out.

4. Further studies are related to the fact that the theory of combined cylinders creates prospects both in the development of high-pressure technology and in the creation of lighter and more stable structures.

REFERENCES

1. Dymchinsky, N.V. (1984), "Combat application of mortars", *Foreign Military Review*, No. 8, pp. 34-35.
2. Musienko, A.V. (2010), "Artillery of infantry and not only: the experience of combat use of mortar weapons in local conflicts of the XX - early XXI century", *Weapons*, No. 12, pp. 38-46.
3. O'Malley, T.J. (2000), *Modern artillery: guns, MLRS, mortars* (Original name: ARTILLERY: GUNS AND ROCKET SYSTEMS), Publishing house "EKSMO-Press", Moscow, 159 p.
4. Zgurets, S. (2018), *The explosion of the mortar "Hammer"*, available at: <https://censor.net.ua/b3075511> (last accessed on May 30, 2018).
5. Shirokorad, A.B. (2000), *Domestic mortars and rocket artillery*, Harvest Publishing House / AST, Minsk, 206 p.
6. Shvinning, V.I. (1937), *The design and material of firearm barrels*, Artillery Academy, Leningrad, 201 p.
7. Rozov, Yu.G., Steblyuk, V.I., Sidorenko, Yu.M. and Shkarluta D.B. (2012), "Estimation of the effect of the barrel channel profile on the strength of small arms", *Artillery and small arms: Int. Scientific and Technical Journal*, No. 1, pp. 35-39.
8. Zayarny, V.I. (1972), *Fundamentals of the theory of combined vessels*, The Publishing House of Lviv University, Lviv, 122 p.
9. Terebushko, O.I. (1984), *Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity*, Science, Moscow, 320 pp.
10. Deebir, A.G., Makarov, O.V., Pekelny, N.I., Yudin, G.I. and Grebennikov M.N. (2007), *Practical calculations on the strength of structural elements*, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, 102 p.
11. Ershov, A.P. (2000), "Explosion", *Physics. Soros Educational Journal*, Vol. 6, No. 1, pp. 85-90.

Надійшла (received) 07.06.2018

Прийнята до друку (accepted for publication) 08.08.2018

Метод підвищення міцності стволів мінометів

А. В. Ковтун, В. О. Табуненко

Предмет статті - оцінка можливості підвищення безпеки особового складу підрозділів при експлуатації мінометів. **Науковою основою** досліджень процесу навантаження ствола міномету при пострілі є: теорія пружності, пластичності і міцності матеріалів, теоретичні основи забезпечення живучості зброї при веденні бойових дій, теорія надійності зразків озброєння, математичне моделювання, математичне планування експериментів, методи скріплених конструкцій, суміщених циліндрів. **Мета статті** - дослідження можливості підвищення міцності стволів мінометів. **Завдання** - проаналізувати причини випадків загибелі бойових розрахунків мінометів, що почастишали, при розриві стволів під час експлуатації мінометів. Виявити основні напрями роботи по відвертанню вибухів мін в каналі ствола міномета і визначити шляхи їх усунення за рахунок удосконалення способів бойового застосування; дотримання заходів безпеки при проведенні стрільб; підвищення технічної підготовки особового складу підрозділів; розробки і використання нових технічних рішень при розробці мінометів. **Результати досліджень**. У роботі розглянутий і запропонований аналітичний метод підвищення міцності стволів мінометів, на основі застосування принципу поєднаних конструкцій. В результаті проведених досліджень запропонована модель визначення приведеної напруги і граничного тиску в поєднаних циліндрах. У роботі приведені результати розрахунку граничного тиску в циліндрах. **Висновки**: в статті досліджена можливість підвищення міцності стволів мінометів. Запропоновано для підвищення міцності стволів мінометів використати теорію поєднаних циліндрів. Проведено розрахунок величини внутрішнього тиску для конструкції міномета у вигляді поєднаних циліндрів. Подальші дослідження пов'язані з тим, що теорія поєднаних циліндрів створює перспективи як в розвитку техніки високих тисків, так і в створенні легших і міцніших конструкцій.

Ключові слова: міномет; ствол; порохові гази; скорострільність; циліндр; калібр; радіус циліндра; заходи безпеки при проведенні стрільб; напруга в конструкції ствола; поєднані конструкції; внутрішня напруга і граничний тиск; розрив.

Метод повышения прочности стволов минометов

А. В. Ковтун, В. А. Табуненко

Предмет статьи – оценка возможности повышения безопасности личного состава подразделений при эксплуатации минометов. **Научной основой** исследований процесса нагрузки ствола миномета при выстреле являются: теория упругости, пластичности и прочности материалов, теоретические основы обеспечения живучести оружия при ведении боевых действий, теория надежности образцов вооружения, математическое моделирование, математическое планирование экспериментов, методы скрепленных конструкций, совмещенных цилиндров. **Цель статьи** – исследование возможности повышения прочности стволов минометов. **Задача** – проанализировать причины участвовавших случаев гибели боевых расчетов минометов при разрыве стволов во время эксплуатации минометов. Выявить основные направления работы по предотвращению взрывов мин в канале ствола миномета и определить пути их устранения за счёт усовершенствования способов боевого применения; соблюдения мер безопасности при проведении стрельб; повышения технической подготовки личного состава подразделений; разработки и использования новых технических решений при разработке минометов. **Результаты исследований**. В работе рассмотрен и предложен аналитический метод повышения прочности стволов минометов, на основе применения принципа совмещенных конструкций. В результате проведенных исследований предложена модель определения приведенных напряжений и предельного давления в совмещенных цилиндрах. В работе приведены результаты расчета предельного давления в цилиндрах. **Выводы**: в статье исследована возможность повышения прочности стволов минометов. Предложено для повышения прочности стволов минометов использовать теорию совмещенных цилиндров. Проведен расчет величины внутреннего давления для конструкции миномета в виде совмещенных цилиндров. Дальнейшие исследования связаны с тем, что теория совмещенных цилиндров создает перспективы как в развитии техники высоких давлений, так и в создании более легких и прочных конструкций.

Ключевые слова: миномет; ствол; пороховые газы; скорострельность; цилиндр; калибр; радиус цилиндра; меры безопасности при проведении стрельб; напряжения в конструкции ствола; совмещенные конструкции; внутреннее напряжение и предельное давление; разрыв.

A. Serkov¹, V. Breslavets¹, I. Yakovenko¹, O. Dziabenko²

¹ National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

² University of Deusto, Bilbao, Spain

EXCITATION OF SURFACE VIBRATIONS OF SEMICONDUCTOR STRUCTURES EXPOSED TO EXTERNAL ELECTROMAGNETIC RADIATION

The subject of the study are processes of manifestation of instabilities of natural oscillations of semiconductor structures, which are caused by the mechanisms of interaction of charged particle flows in the presence of powerful external electromagnetic radiation. **The goal** is to obtain design relationships that allow determining the degree of deviation of the performance characteristics of semiconductor components from the norm, depending on the parameters of the external pulsed electromagnetic field. **The task** is to construct a model of interaction induced by external electromagnetic radiation currents with electrostatic oscillations of the semiconductor structure. **The model** is based on the realization of the resonance (Cherenkov) interaction of moving charges and electromagnetic oscillations under conditions where the phase velocity of the wave and the velocity of the charged particle are the same. **The methods** used: analytical methods for solving the Maxwell equations and the equations of the medium in the framework of the hydrodynamic approach. **The following results are obtained.** Investigations of the functioning of semiconductor components of electronic equipment under the influence of strong-pulsed electromagnetic fields are carried out. The nature of changes in the working capacity of semiconductor components of the hardware component base is determined. It is shown that the influence of pulsed electromagnetic radiation is accompanied by the appearance of currents in the conductive elements of products and the appearance of intrinsic internal fields. One of the types of reversible failures of the semiconductor element base of electronic products is determined, based on the interaction of currents induced by external radiation with the intrinsic fields of the structures that complete the product. Similar failures are realized under conditions of Cherenkov radiation, when the current is parallel to the boundary of the structure. It is shown that this interaction leads to energy losses of the induced currents to excitation of the natural vibrations of the structure, i.e. the appearance of a mode of oscillation generation, which is characterized by a change in the volt-ampere characteristics of radio products. **Conclusions.** The comparative analysis of quantitative evaluations of reversible failures of semiconductor devices depending on the spatial configuration of the acting field, in which the induced current is paralleled to the structure boundary, allows solving problems of optimizing the degree of distortion of the performance characteristics of these devices. The results obtained in the work can be used to evaluate the efficiency of active radioelectronic devices, for example, amplifiers, generators and converters of electromagnetic oscillations in the millimeter and submillimeter ranges under the influence of powerful external pulsed electromagnetic fields.

Keywords: electromagnetic radiation; Semiconductor structures; Surface oscillations; Charged particles; Vibration decrement.

Introduction

Most of the available theoretical and experimental results of studies of the influence of EMR on radio devices are related to the field of irreversible failures. Modeling of the mechanisms of interaction of induced currents and voltages with the processes characterizing the functional purpose of products is usually carried out within the framework of the theory of chains with distributed parameters. This approach makes it possible to evaluate the performance criteria as a whole (for example, to estimate the critical energy characterizing a thermal breakdown), but the issues related to determination of various kinds of electromagnetic interactions that occur directly in component parts exposed to EMR remain unsolved.

Expansion of application areas and increase in the processing speed of radio electronic equipment (REE) lead to a need for increasing use of element base containing semiconductor electronics products [1]. This increases the degree of influence that external electromagnetic radiation (EMR) produces on the performance of REE, taking into account that semiconductor components have an increased sensitivity to EMR.

All kinds of failures that arise in REE resulting from the influence of external factors are usually

classified as reversible and irreversible [2]. Irreversible failures are characterized by a complete loss of functional characteristics of REE. Such failures occur when a change in the internal parameters of the equipment exceeds the permissible limits (with external EMR, irreversible failures usually occur due to a thermal breakdown of the components). For reversible failures, a temporary loss of performance is typical, leading to a distortion of the output characteristics.

This paper to some extent compensates the existing gap in this area of research on reversible failures. We study the interaction of charged particle fluxes induced by EMR with wave processes in semiconductor structures used in modern microwave electronics.

Task solution

The object of the study is surface oscillations of the semiconductor structures used in radio hardware components and the mechanisms of their interaction with the conduction electrons, leading to damping of the oscillations being exposed to an external electromagnetic field. Let us consider the attenuation of surface plasmons on the boundary of two media, which at $T = 0$ are characterized by dielectric permeability

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{0i} - \omega_{0i}^2 / \omega^2.$$

To find the spectrum and collisionless damping of surface oscillations under conditions of neglecting the delay effect of the electromagnetic field, we use the following equations:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E}(x, y, t) &= 0; \\ \vec{E}(x, y, t) &= \vec{E}(\omega, q_x, y) e^{i(q_x x - \omega t)}; \\ \vec{E}(\omega, q_x, y) &= (E_x, E_y, 0); \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \vec{D}(\omega, x, y) &= 0; \\ \vec{D}(\omega, x, y) &= \varepsilon_0(y) \vec{E}(\omega, x, y) + \frac{4\pi i}{\omega} \vec{j}(\omega, x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_0(y) &= \begin{cases} \varepsilon_{01}, & y > 0; \\ \varepsilon_{02}, & y < 0; \end{cases} \quad \vec{E} = \begin{cases} \vec{E}_1, & y > 0; \\ \vec{E}_2, & y < 0; \end{cases} \\ \vec{j} &= \begin{cases} \vec{j}_1, & y > 0; \\ \vec{j}_2, & y < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

with the following boundary conditions at $y = 0$: the continuity of the tangential components of the electric field is E_x and the normal components of the electric induction are D_y .

We start from a model of a homogeneous medium. In other words, we assume that, as in the case of cold plasma, both media are infinite, and the fields and currents in each of them satisfy the boundary conditions on the plane $y = 0$ and decrease when $y \rightarrow \pm \infty$. Obviously, such a model is completely justified if the boundary is transparent for particles; i.e. the height of the potential barrier is small in comparison to the energy of the particles. Wherein $\omega_{01} = \omega_{02}$; $\varepsilon_{01} \neq \varepsilon_{02}$.

On the other hand, if the media are separated by an infinitely high potential barrier $\omega_{01} \neq \omega_{02}$, then the particles experience an elastic (mirror) reflection from both sides of the barrier, and the electromagnetic properties of such a semi-bounded medium are known to be identical to an unlimited medium. In this case, the results obtained in [3] for a classical approximation for a plasma-dielectric boundary (a nonabsorbent medium) can be transferred to the case of two plasma-like media separated by a dielectric layer whose thickness is small in comparison with the wavelength.

Then the material equation can be written:

$$\vec{j}(\omega, \vec{r}) = -\frac{e^2 n_0}{mc} \vec{A}(\omega, r) + \vec{j}'(\omega, r). \quad (3)$$

Here $\vec{A}(\omega, \vec{r}) = \frac{c}{i\omega} \vec{E}(\omega, \vec{r})$ is a vector potential, $n_0 = \sum \rho_k^0 \psi_k^*(\vec{r}) \psi_k(\vec{r})$ is the equilibrium concentration of charge carriers, ρ_k^0 is their equilibrium distribution function, $\psi_k(\vec{r}) = V^{-1/2} \exp(ik\vec{r})$ is the wave function of a particle with the dispersion law $E_k = \frac{\hbar^2 k^2}{2m}$, V is the volume of the medium, $\vec{j}'(\omega, \vec{r}) = \sum \rho_{kk'}(\omega) \vec{j}_{kk'}(\vec{r})$

is the conductivity current due to electron transitions between states k and k' ($k_z = k'_z$) due to inelastic scattering with a potential $\vec{A}(\omega, \vec{r}) = \vec{A}(\omega, q_x, y) e^{i(q_x x - \omega t)}$ (we further assume for definiteness that $q_x > 0, \omega > 0$), and $\rho_{kk'}^0(\omega)$ is the perturbed off-diagonal correction to the equilibrium particle distribution function, determined from the equation of motion for the density matrix [2]:

$$\rho_{kk'}(\omega) = \frac{\rho_k^0 - \rho_{k'}^0}{\hbar(\omega_{kk'} - \omega^*)} H_{kk'}(\omega); \quad (4)$$

$$\omega_{kk'} = \frac{\hbar(k^2 - k'^2)}{2m}; \quad \omega^* = \omega + i\nu, \quad \nu \rightarrow 0;$$

$$H_{kk'} = \frac{ie\hbar}{2mc} \int \psi_k^*(\vec{r}) (\vec{A} \nabla + \nabla \vec{A}) \psi_{k'}(\vec{r}) d\vec{r}$$

is the matrix element of the Hamiltonian of interaction of charge carriers with an electromagnetic field.

$$\vec{j}_{kk'} = \frac{ie\hbar}{2m} \left\{ \nabla \psi_{k'}^*(r) \psi_k(\vec{r}) - \psi_{k'}^*(r) \nabla \psi_k(\vec{r}) \right\} \quad (5)$$

is the matrix element of the particle current density operator. You can finally convert $\vec{j}'(\omega, \vec{r})$ to the following form:

$$\begin{aligned} \vec{j}'(\omega, \vec{r}) &= -\frac{1}{\hbar c} \sum \vec{j}_{kk'}(\vec{r}) \frac{(\rho_k^0 - \rho_{k'}^0)}{\omega_{kk'} - \omega^*} \times \\ &\times \left[H_{kk'}^s(\omega) + \int \vec{j}_{kk'}(\vec{r}) \vec{A}(\omega, \vec{r}) d\vec{r} \right], \end{aligned} \quad (6)$$

where

$$H_{kk'}^s = \frac{ie\hbar}{2mc} \int dx dz \psi_k^*(x, 0, z) \psi_{k'}(x, 0, z) \times \left[A_y(\omega, x, +0) - A_y(\omega, x, -0) \right]$$

Thus, in equation (3) for the total current, the first term determines the frequency of the surface plasmons; the second term must determine their damping.

Substituting further $\vec{j}(\omega, \vec{r})$ into equation (2) and taking into account equation (3), we obtain:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 A_x(\omega, x, y)}{\partial y^2} - q_x^2 A_x(\omega, x, y) &= \\ &= -\frac{4\pi i q_x c}{\omega^2 \varepsilon(\omega)} \operatorname{div} \vec{j}'(\omega, x, y); \end{aligned} \quad (7)$$

$$\varepsilon(\omega) = \begin{cases} \varepsilon_1(\omega), & y > 0 \\ \varepsilon_2(\omega), & y < 0 \end{cases}$$

Since the damping decrement is small in comparison with the oscillation frequency, the solution of (7) is sought using the method of successive approximations. Assuming that the right-hand side in the first approximation is equal to zero, we find the following expressions for the potential in each of the media for $\varepsilon(\omega) \neq 0$:

$$\begin{aligned} y > 0, \quad A_{1x}(y) &= A_1 e^{-q_x y}, \quad A_{1y} = iA_{1x}(y) \\ y < 0, \quad A_{2x}(y) &= A_2 e^{-q_x y}, \quad A_{2y} = -iA_{2x}(y) \end{aligned} \quad (8)$$

Let us extend the potentials to the half-spaces of $y < 0$ and $y > 0$ respectively:

$$A_x(-y) = A_x(y); \quad A_y(-y) = -A_y(y).$$

Thus, the normal component $\vec{A}(y)$ undergoes a discontinuity in the plane of $y = 0$. Substituting the values of $\vec{A}(\omega, \vec{r})$ in equation (3) and integrating over the whole space $\vec{r}$, we obtain the following results after replacing the summation $\sum_k$ by integration $\frac{V}{(2\pi)^3} \int d\vec{k}$:

$$\begin{aligned} \vec{j}'(\omega, \vec{r}) &= \\ &= \frac{e^2 \hbar A e^{iq_x x}}{2(2\pi)^4 m^2 c} \cdot \int \frac{d\vec{k} dk'_y}{\omega_{kk'} - \omega} (\rho_k^0 - \rho_{k'}^0) (\vec{k} + \vec{k}') \times \\ &\times \left[1 - \frac{k^2 - k'^2}{q_x^2 + (k_y - k'_y)^2} \right] e^{i(k_y - k'_y)y}. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\text{Here} \quad k'_x = k_x - q_x, \quad k'_z = k_z.$$

The term that is proportional to ρ_k^0 determines the current resulting from the transition of an electron from state k to state k' with emission of $\hbar\omega$ quantum of electromagnetic field. Here it is possible to carry out integration k'_y , taking into account the contributions of poles $k_y^2 = k'^2 - \frac{2m(\omega + i\nu)}{\hbar}$ at $k_x \gg q_x$, $\omega \gg q_x v_x$.

The term with $\rho_{k'}^0$ determines the current associated with the transitions of electrons from the state k' to the state k upon absorption of energy $\hbar\omega$. This current is determined by the poles $k_y^2 = k'^2 + \frac{2m(\omega + i\nu)}{\hbar}$ when integrating over k_y . As a result of integration, we get:

$$\begin{aligned} \vec{j}'(\omega, \vec{r}) &= \frac{-ie^2 \omega A e^{iq_x x}}{(2\pi)^3 \hbar c} \times \\ &\times \left\{ \int \frac{d\vec{k} (\vec{k} + \vec{k}_-^0) \rho_k^0}{k_y^- (k_y - k_y^-)^2} \left[1 - \frac{\hbar(k_y - k_y^-)^2}{2m\omega} \right] \times \right. \\ &\times \exp\left\{ i \left[k_y - k_y^- + i\delta_- \right] y \right\} - \\ &- \int \frac{d\vec{k} (\vec{k} + \vec{k}_+^0) \rho_{k'}^0}{k_y^+ (k_y - k_y^+)^2} \left[1 - \frac{\hbar(k_y - k_y^+)^2}{2m\omega} \right] \times \\ &\times \exp\left\{ i \left[k_y^+ - k_y + i\delta_+ \right] y \right\} \Big\}. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{Here:} \quad y < 0, \quad k_y^\pm = \sqrt{k_y^2 \pm 2m\omega/\hbar} > 0,$$

$$\vec{k}_\pm = (k_x, k_y^\pm, k_z), \quad \delta_\pm = \frac{m\nu}{\hbar k_y^\pm}.$$

The symbol $\int'$ means that integration over k_y is carried out in regions $\left(-\infty, -\sqrt{\frac{2m\omega}{\hbar}}; \sqrt{\frac{2m\omega}{\hbar}}, \infty \right)$ where the process of radiation of a quantum of energy by an electron is possible. A similar expression for $\vec{j}'$ can be easily obtained in $y < 0$ region.

It can be seen that the current $\vec{j}'(\omega, \vec{r})$ resulting from electronic transitions between states k_y and k'_y is an infinite set of spatial harmonics with a period of $2\pi/|k_y - k_y^\pm|$ depending on the frequency of the field and the momentum of the particle, with an amplitude decreasing from the boundary as $\exp(-\delta_\pm |y|)$. In the classical limit of $k_y^2, k_y'^2 \gg 2m\omega/\hbar$ such harmonics are known as "Van Kampen waves" whose phase velocity is equal to the velocity of the particle. Substituting (6) into equation (7), we find the potential excited by the current $\vec{j}'(\omega, x, y)$

$$\begin{aligned} A'_x(\omega, q_x, y) &= \frac{i\alpha(\omega, q_x, y)}{\varepsilon(\omega)} A; \\ A'_y(\omega, q_x, y) &= \frac{A}{q_x \varepsilon(\omega)} \frac{\partial \alpha}{\partial y}(\omega, q_x, y); \\ \alpha(\omega, q_x, y) &= \frac{e^2 q_x m}{\pi^2 \hbar^2} \times \\ &\times \left\{ \int' \frac{\rho_k^0 d\vec{k}}{k_y^- (k_y \mp k_y^-)^4} \left[1 - \frac{\hbar(k_y \mp k_y^-)^2}{2m\omega} \right] \times \right. \\ &\times \exp\left\{ i(k_y \mp k_y^- \pm i\delta_-)y \right\} - \\ &\int' \frac{\rho_{k'}^0 d\vec{k}}{k_y^+ (k_y \mp k_y^+)^4} \left[1 - \frac{\hbar(k_y \mp k_y^+)^2}{2m\omega} \right] \times \\ &\times \exp\left\{ i(\pm k_y^+ - k_y \pm i\delta_+)y \right\} \Big\}. \end{aligned} \quad (11)$$

Here the upper signs in front of $k_y^\mp$ and $\delta_\mp$ refer to $y > 0$ half-space, and the lower ones – to $y < 0$ half-space. By means of the boundary conditions, we can now eliminate the undefined constants A1 and A2 and obtain the dispersion equation:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1(\omega) \left[1 + i \frac{\alpha_2(\omega, q_x, 0)}{\varepsilon_2(\omega)} \right] + \\ + \varepsilon_2(\omega) \left[1 + i \frac{\alpha_1(\omega, q_x, 0)}{\varepsilon_1(\omega)} \right] = 0. \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{Hence, when } \left| \frac{\alpha(\omega, q_x, 0)}{\varepsilon(\omega)} \right| \ll 1 \text{ we get:}$$

$$\omega_s = \left(\frac{\omega_{01}^2 + \omega_{02}^2}{\varepsilon_{01} + \varepsilon_{02}} \right)^{1/2};$$

$$\Delta\omega_s = \frac{i\omega_s}{2} \frac{[\alpha_1(\omega, q_x, 0) + \alpha_2(\omega, q_x, 0)]}{\varepsilon_{01} + \varepsilon_{02}}.$$

Analysis

Now, let us find the damping decrements in various physical situations. In the case of a Maxwellian electron distribution

$$\rho_k^0 = \frac{(2\pi\hbar)^3 n_0}{(2\pi mT)^{3/2}} e^{-\frac{\hbar^2 k^2}{2mT}}$$

the expression for $\alpha(\omega, q_x, 0)$ can be converted to the following form:

$$\alpha(\omega, q_x, 0) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\omega_0^2 q_x v_T T}{\hbar \omega^4} (e^{-\frac{\hbar \omega}{T}} - 1) \times$$

$$\times \int_{-\infty}^{\infty} (x^2 + \frac{\hbar \omega}{T})^{\frac{1}{2}} x^2 e^{-x^2} dx.$$

Hence, we obtain:

$$\alpha = -2 \frac{\omega_0^2 q_x v_T}{\omega_s^3} \sqrt{\frac{T}{2\hbar \omega_s}}, \quad \frac{\hbar \omega_s}{T} \gg 1;$$

$$\alpha = -2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\omega_0^2 q_x v_T}{\omega_s^3}, \quad \frac{\hbar \omega_s}{T} \ll 1. \quad (13)$$

In the case of an infinitely small barrier:

$$\omega_{01} = \omega_{02}, \quad \varepsilon_{01} \neq \varepsilon_{02}, \quad \omega_s = \omega_0 \sqrt{2/(\varepsilon_{01} + \varepsilon_{02})};$$

the decrements of the oscillations are respectively equal to:

$$\Delta\omega_s = -iq_x v_T \sqrt{T/(2\hbar \omega_s)}; \quad \hbar \omega_s \gg T;$$

$$\Delta\omega_s = -\sqrt{2/\pi} \cdot iq_x v_T; \quad \hbar \omega_s \ll T. \quad (14)$$

On the boundary of two plasma media, separated by an infinitely high potential barrier, the expressions for the decrement obtain the following form:

$$\Delta\omega_s = -i \frac{q_x}{\sqrt{2\hbar \omega_s}} \frac{\sum \omega_{0i}^2 v_{Ti} T_i^{1/2}}{\sum \omega_{0i}^2};$$

$$\Delta\omega_s = -\sqrt{\frac{2}{\pi}} iq_x \frac{\sum \omega_{0i}^2 v_{Ti}}{\sum \omega_{0i}^2}; \quad i = 1, 2 \dots \quad (15)$$

It is seen that at the plasma-insulator boundary

$$\omega_{02} = 0, \quad \omega_{01} = \omega_0, \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_d$$

equations (15) coincide with equations (13) and correspond to the well-known expression for the decrement of surface vibrations [4] under mirror reflection of particles from the boundary.

Conclusions

A model has been proposed for the interaction of conduction electrons in a semiconducting medium with surface oscillations. The model is based on the implementation of the resonance (Cherenkov) interaction between moving charges and electromagnetic oscillations under conditions where the phase velocity of the wave and the velocity of a charged particle are the same.

The ratios have been calculated relating the following parameters of semiconductor structures: the concentration of free carriers, the dielectric constant, the carrier temperature with the magnitude of the vibration decrement in the classical and quantum approximations.

It has been shown that the impact of pulsed electromagnetic radiation on electronic products is often accompanied by emergence of currents in the conductive elements of hardware and formation of their internal fields.

The mechanisms of interaction of charged particles with natural oscillations of the components of the electronic devices leading to attenuation of surface oscillations in semiconductor structures have been determined.

REFERENCES

1. Averkov, Yu.O. and Yakovenko, V.M. (2009), "Transition radiation of a modulated electron beam crossing a wire screen", *Radiophysics and Electronics*, Vol. 14, No. 3, pp. 337-343.
2. Averkov, Yu.O. and Yakovenko, V.M. (2009), "Excitation of surface electrostatic waves in semibounded layered superconductors by a nonrelativistic electron beam", *ZhTF*, Vol. 79, No. 5, pp. 87-94.
3. Averkov, Yu.O., Bass, F.G. and Yakovenko, V.M. (2009), "Excitation of surface excitons in semi-bounded solids by a nonrelativistic electron beam", *FTT*, Vol. 51, No. 1, pp. 57-64.
4. Kravchenko, V.I., Yakovenko, V.I., Yakovenko, I.V. and Losev, F.V. (2009), "Impact of extraneous factors on semiconductor components of electronic radio-devices", *Vestnik NTU "KhPI"*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 11, pp. 62-69.
5. Beletsky, N.N., Khankina, S.I., Yakovenko, V.I. and Yakovenko, I.V. (2010), "Interaction between surface plasmons and charged particle flows passing through the interface", *ZhTF*, Vol. 80, No. 4, pp. 120-125.
6. Khankina, S.I., Yakovenko, V.I. and Yakovenko, I.V. (2011), "Electronic states on an uneven surface of a solid body surface", *FNT*, Vol. 37, No. 11, pp. 1148-1155.
7. Kravchenko, V.I., Korobko, A.I. and Yakovenko, I.V. (2014), "Influence of external electromagnetic factors on waveguide characteristics of semiconductor components of electronic devices", *Vestnik NTU "KhPI"*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 21, pp. 79-84.
8. Kravchenko, V.I. and Yakovenko, I.V. (2014), "Mechanisms of failure of semiconductor components of electronic products under the influence of external electromagnetic radiation", *Vestnik NTU "KhPI"*, NTU "KhPI", Kharkiv, No. 21, pp. 84-88.

Received (Надійшла) 19.07.2018

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.08.2018

**Збудження поверхневих коливань напівпровідникових структур
під впливом стороннього електромагнітного випромінювання**

О. А. Серков, В. С. Бреславец, І. В. Яковенко, О. Дзябенко

Предметом вивчення є процеси виникнення нестійкості власних коливань напівпровідникових структур, які обумовлені механізмами взаємодії потоків заряджених частинок за наявності потужного зовнішнього електромагнітного випромінювання. **Мета** - отримання розрахункових співвідношень, які дозволяють визначити ступінь відхилення робочих характеристик напівпровідникових комплектуючих від норми в залежності від параметрів зовнішнього імпульсного електромагнітного поля. **Задача** - побудова моделі взаємодії наведених зовнішніми електромагнітними випромінюваннями струмів з електростатичними коливаннями напівпровідникової структури. В основу моделі покладено реалізацію резонансної (черенковської) взаємодії рухливих зарядів та електромагнітних коливань в умовах, коли співпадають фазова швидкість хвилі та швидкість зарядженої частинки. Використані **методи**: аналітичні методи рішення рівнянь Максвелла та рівнянь середовища в рамках гідродинамічного підходу. Отримані наступні **результати**. Проведені дослідження функціонування напівпровідникових комплектуючих електрорадіовиробів в умовах дії потужних імпульсних електромагнітних полів. Визначено характер змін працездатності напівпровідникових комплектуючих елементної бази технічних засобів. Показано, що вплив імпульсного електромагнітного випромінювання супроводжується виникненням струмів у провідних елементах виробів та виникненням власних внутрішніх полів. Визначено один з типів зворотніх відмов напівпровідникової елементної бази електрорадіовиробів, що базується на взаємодії струмів, наведених зовнішнім випромінюванням, з власними полями структур комплектуючих виробів. Подібні відмови реалізуються в умовах черенковського випромінювання, коли струм паралельний до кордонів структури. Показано, що дана взаємодія призводить до енергетичних втрат наведеного струму на збудження власних коливань структури, тобто появу режиму генерації коливань, які характеризується зміною вольт-амперних характеристик радіовиробів. **Висновки**. Проведений порівняльний аналіз кількісних оцінок зворотніх відмов у напівпровідникових приладах в залежності від просторової конфігурації впливаючого поля, за яким наведений струм виникає паралельно до кордонів структури, дозволяє вирішувати задачі оптимізації ступеня спотворення робочих характеристик даних приладів. Результати, які отримані в роботі, можуть бути використані під час оцінки працездатності активних радіоелектронних приладів, наприклад, підсилювачів, генераторів та перетворювачів електромагнітних коливань міліметрового та субміліметрового діапазонів в умовах впливу потужних зовнішніх імпульсних електромагнітних полів.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання; напівпровідникові структури; поверхневі вібрації; заряджені частинки; декремент коливань.

**Возбуждение поверхностных колебаний полупроводниковых структур
при воздействии стороннего электромагнитного излучения**

А. А. Серков, В. С. Бреславец, И. В. Яковенко, О. Дзябенко

Предметом изучения являются процессы проявления неустойчивостей собственных колебаний полупроводниковых структур, которые обусловлены механизмами взаимодействия потоков заряженных частиц при наличии мощного внешнего электромагнитного излучения. **Цель** - получение расчетных соотношений, позволяющих определять степень отклонения рабочих характеристик полупроводниковых комплектующих от нормы в зависимости от параметров внешнего импульсного электромагнитного поля. **Задача** - построение модели взаимодействия наведенных внешним электромагнитным излучением токов с электростатическими колебаниями полупроводниковой структуры. В основу модели положена реализация резонансного (черенковского) взаимодействия движущихся зарядов и электромагнитных колебаний в условиях, когда совпадают фазовая скорость волны и скорость заряженной частицы. Используются **методы**: аналитические методы решения уравнений Максвелла и уравнений среды в рамках гидродинамического подхода. Получены следующие **результаты**. Проведены исследования функционирования полупроводниковых комплектующих электрорадиоизделий в условиях воздействия сильных импульсных электромагнитных полей. Определен характер изменений работоспособности полупроводниковых комплектующих элементной базы технических средств. Показано, что влияние импульсного электромагнитного излучения сопровождается возникновением токов в проводящих элементах изделий и возникновением собственных внутренних полей. Определен один из типов обратимых отказов полупроводниковой элементной базы электрорадиоизделий, основанный на взаимодействии токов, наведенных внешним излучением, с собственными полями структур, комплектующих изделие. Подобные отказы реализуются в условиях черенковского излучения, когда ток параллелен границе структуры. Показано, что данное взаимодействие приводит к энергетическим потерям наведенных токов на возбуждение собственных колебаний структуры, т.е. появлению режима генерации колебаний, который характеризуется изменением вольт-амперных характеристик радиоизделий. **Выводы**. Проведенный сравнительный анализ количественных оценок обратимых отказов полупроводниковых приборов в зависимости от пространственной конфигурации воздействующего поля, при котором наведенный ток параллелен границе структуры, позволяет решать задачи оптимизации степени искажения рабочих характеристик данных приборов. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при оценке работоспособности активных радиоэлектронных приборов, например, усилителей, генераторов и преобразователей электромагнитных колебаний миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в условиях воздействия мощных внешних импульсных электромагнитных полей.

Ключевые слова: электромагнитное излучение; полупроводниковые структуры; поверхностные колебания; заряженные частицы; декремент колебаний.

НАШІ АВТОРИ (AUTHORS)

- АЛІЄВ**
Азер Алі огли
(Azer Ali ogli Aliev)
Військова академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан, генерал-майор, Заступник начальника Академії з навчальної роботи, e-mail: azer310@mail.ru
- АХІЄЗЕР**
Олена Борисівна
(Olena Akhiezer)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, e-mail: elena_akhiezer@ukr.net; <http://orcid.org/0000-0002-7087-9749>
- БАЙРАМОВ**
Азад Агалар огли
(Azad Agalar ogli Bayramov)
Військова академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан, доктор фізико-математичних наук, професор, професор-радник, e-mail: azad.bayramov@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-6672-2338>
- БАРАБАШ**
Олег Володимирович
(Oleg Barabash)
Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики, e-mail: bar64@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1715-0761>
- БАРСОВ**
Валерій Ігоревич
(Valeriy Barsov)
Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри систем управління літальних апаратів, e-mail: v.i.barsov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9029-4633>
- БЕДЕРАК**
Ярослав Семенович
(Yaroslav Bederak)
Черкаське відкрите акціонерне товариство «Азот», Черкаси, Україна, кандидат технічних наук, начальник лабораторії цеху електропостачання, e-mail: bederak@azot.ck.ua; <https://orcid.org/0000-0002-2669-0965>
- БОРОЗЕНЕЦЬ**
Ігор Олексійович
(Igor Borozenets)
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, e-mail: borozenetsio@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1162-9966>
- БРЕСЛАВЕЦЬ**
Віталій Сергійович
(Vitaliy Breslavets)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, e-mail: bres123@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-9954-159X>
- БУЛЬБА**
Сергій Сергійович
(Serhiy Bulba)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, аспірант кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: bssserega@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0358-7516>
- ВОЛОЦКОВ**
Євгеній Андрійович
(Yevgeniy Volotskov)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, студент кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: volockove@gmail.com
- ГАПОН**
Дмитро Анатолійович
(Dmitry Gapon)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем, e-mail: dima12345go@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8609-9707>
- ГРИШМАНОВ**
Дмитро Євгенійович
(Dmytro Gryshmanov)
Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна, аспірант кафедри льотної експлуатації, аеродинаміки та динаміки польоту, e-mail: di-sorry@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2373-0853>
- ДАВИДОВ**
Вячеслав Вадимович
(Vyacheslav Davydov)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: vyacheslav.v.davydov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2976-8422>
- ДАНЮК**
Юрій Володимирович
(Yuriy Danuk)
Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, e-mail: yuriydanyuk@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3846-1078>
- ДЕРГАЧОВ**
Костянтин Юрійович
(Kostiantyn Dergachov)
Національний аерокосмічний університет імені М. С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри систем управління літальними апаратами, e-mail: kosv.v@ukr.ua; <http://orcid.org/0000-0002-6939-3100>
- ДЗЯБЕНКО**
Ольга
(Olga Dziabenko)
Університет Деусто, Більбао, Іспанія, магістр в галузі теоретичної фізики, дослідник факультету інженерії, e-mail: olga.dziabenko@deusto.es
- ДИМИТРОВ**
Мартин Стойчев
(Martin Stoychev Dimitrov)
Технічний університет – Софія, Софія, Болгарія, докторант кафедри електровимірювальної техніки факультету автоматики, e-mail: martin.dimitrov@yahoo.com
- ДМИТРИЄВ**
Олег Миколайович
(Oleg Dmitriev)
Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна, доцент кафедри, e-mail: mazharovpp@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9535-0841>
- ДУБНИЦЬКИЙ**
Валерій Юрійович
(Valeriy Dubnitskiy)
Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, e-mail: dubnitskiy@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1924-4104>
- ДУНАЄВСЬКА**
Ольга Ігорівна
(Olha Dunaievska)
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, e-mail: dunaevskaya.olga.khpi@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0003-0286-5991>

- ЖИВОТОВСЬКИЙ**
Руслан Миколайович
(Ruslan Zhyvotovskiy)
 Центральний НДІ озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, начальник науково-дослідного відділу – заступник начальника НДУ; e-mail: Ruslan_zhyv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2717-0603>
- ЗИКОВ**
Ігор Семенович
(Ihor Zikov)
 Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: igor.zikov@khpi.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8884-2715>
- ЗИМОВІН**
Анатолій Якович
(Anatoliy Zymovin)
 Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри систем управління літальними апаратами, e-mail: leonid.krasnov.1947@gmail.com
- ЗУЄВ**
Андрій Олександрович
(Andrey Zuev)
 Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматики та управління в технічних системах, e-mail: dakarton@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-8206-4304>
- ІЗМАЙЛОВ**
Артем Вікторович
(Artem Izmailov)
 Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна, аспірант кафедри інформатики, e-mail: aiartefact@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6165-7490>
- КАЛИМУЛІН**
Темір Муратович
(Temir Kalimulin)
 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, командир навчальної групи, e-mail: tkalimulin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7636-7218>
- КОБИЛІН**
Анатолій Михайлович
(Anatoliy Kobylin)
 Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ «Університет банківської справи», Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, e-mail: anatoliy_kam@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8083-0762>
- КОБИЛІН**
Олег Анатолійович
(Oleg Kobylin)
 Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, e-mail: oleg.kobylin@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0834-0475>
- КОВАЛЕНКО**
Олександр Володимирович
(Oleksandr Kovalenko)
 Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення, e-mail: clashav@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9297-0650>
- КОВТУН**
Анатолій Васильович
(Anatoliy Kovtun)
 Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин, e-mail: kav-60@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8427-1005>
- КОСТЕРНА**
Олена Юріївна
(Olena Kosterna)
 Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, асистент кафедри систем управління літальними апаратами, e-mail: lenchik_31pka@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7546-1616>
- КОШЛЯНЬ**
Олександр Анатолійович
(Alexander Koshlan)
 Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна; ад'юнкт; e-mail: Koshlan_sasha@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9678-6463>
- КРАСНОВ**
Леонід Олександрович
(Leonid Krasnov)
 Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри систем управління ЛА, e-mail: leonid.krasnov.1947@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-2607-8423>
- КУЧУК**
Ніна Георгіївна
(Nina Kuchuk)
 Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: nina_kuchuk@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-0784-1465>
- ЛАНДЕ**
Дмитро Володимирович
(Dmytro Lande)
 Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, Київ, Україна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділом спеціалізованих засобів моделювання, e-mail: dwlande@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3945-1178>
- МИКУСЬ**
Сергій Анатолійович
(Serhii Mikus)
 Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна, кандидат військових наук, доцент, професор кафедри, e-mail: mikus_s@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9064-7078>
- МІЩЕНКО**
Анатолій Олександрович
(Anatoly Mischenko)
 Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна, провідний науковий співробітник; e-mail: anatolmischenko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9085-7096>
- МОЛЧАНОВ**
Георгій Ігоревич
(Georhii Molchanov)
 Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, старший викладач кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: xone@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-9299-461x>
- МОМІТ**
Олександр Сергійович
(Alexander Momit)
 Військова частина А2393, Одеса, Україна, начальник відділу; e-mail: momit_sasha@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-8901-7006>
- МОРОЗ**
Ольга Юріївна
(Olha Moroz)
 Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, старший викладач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: olhamoroz@gmail.com
- НЕСМІЯН**
Олексій Юрійович
(Olexii Nesmian)
 Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, викладач кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, e-mail: nesmiyanalexey@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3312-9439>
- ПАРШЕНЦЕВ**
Богдан Володимирович
(Bogdan Parshencev)
 Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, аспірант кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: bogdanparshencev@gmail.com

- ПАВЛЕНКО**
Максим Анатолійович
(Maksim Pavlenko)
ПАСЬКО
Денис Андрійович
(Denys Pasko)
ПЕТРИШИН
Любомир Богданович
(Lubomyr Petryshyn)
ПОДОРОЖНЯК
Андрій Олексійович
(Andrii Podorozhniak)
РИСОВАНІЙ
Олександр Миколайович
(Oleksandr Rysovaniy)
САБЗІЄВ
Ельхан Наріман оглу
(Elhan Nariman ogly Sabziev)
СЕРДЮК
Ірина Васи́лівна
(Iryna Serdiuk)
СЕРКОВ
Олександр Анатолійович
(Aleksandr Serkov)
СОБОЛЄВ
Артем Миколайович
(Artem Sobolev)
СПІВАК
Семен Володимирович
(Semen Spivak)
ТАБУНЕНКО
Володимир Олександрович
(Volodimir Tabunenko)
ТОЛСТОЛУЗЬКА
Олена Геннадіївна
(Olena Tolstoluzka)
ТЮРНИКОВ
Михайло Миколайович
(Mykhailo Tiurnikov)
ЧАЛА
Оксана Вікторівна
(Oksana Chala)
ЧЕЛЯДІН
Олександр Олександрович
(Oleksandr Cheliadin)
ШЕВЦОВА
Ольга Сергіївна
(Olga Shevtsova)
ШИЛО
Сергій Георгійович
(Serhiy Shylo)
ШИШАЦЬКИЙ
Андрій Володимирович
(Andrii Shyshatskyi)
ШМАТКОВ
Сергій Ігорович
(Sergiy Shmatkov)
ШУКЛИН
Герман Вікторович
(German Shuklin)
ЯКОВЕНКО
Ігор Володимирович
(Igor Yakovenko)
- Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, начальник кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, e-mail: bpgpma@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-3216-1864>
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, студент кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: denipasko@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-3997-9503>
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Івано-Франківськ, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики;
Науково-технологічний університет АГН, Краків, Польща, професор кафедри управління, e-mail: l.b.petryshyn@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4168-3891>
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: andriipodorozhniak@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-6688-8407>
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри обчислювальної техніки та програмування, e-mail: rysov@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-0616-1617>
Військова академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент-радник, e-mail: elkhan@kiber.az
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, доцент кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, e-mail: irinaserdiuk135@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-4511-4189>
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, e-mail: saa@kpi.kharkov.ua; <https://orcid.org/0000-0002-6446-5523>
Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "КПІ ім. Ігоря Сікорського", Київ, Україна, аспірант, e-mail: artem1sobolev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4027-042X>
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, студент кафедри комп'ютерної математики та аналізу даних, e-mail: simonzolanski@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0001-9420-938x>
Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин, e-mail: tabunenko55@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1347-5390>
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: elenatolstoluzka@gmail.com
Військова частина А0106, Київ, Україна; e-mail: na4grup@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-4408-4325>
Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, e-mail: oksana.chala@nure.ua; <https://orcid.org/0000-0001-8265-2480>
Національний аерокосмічний університет імені М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна, аспірант кафедри систем управління літальними апаратами, e-mail: lorianua33@gmail.com
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна, асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем, e-mail: shevtsoval111@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0148-5877>
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна, кандидат технічних наук, доцент, викладач кафедри математичного та програмного забезпечення АСУ, e-mail: shilosg@i.ua; <https://orcid.org/0000-0003-5782-552x>
Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна; кандидат технічних наук, науковий співробітник, e-mail: ierikon12@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6731-6390>
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної та прикладної системотехніки, e-mail: tps@karazin.ua
Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна, старший викладач кафедри вищої математики, e-mail: mathacadem-kiev@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2507-384X>
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри систем інформації, e-mail: yakovenko60iv@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-0963-4347>

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Алієв А. А. (Azer Ali ogli Aliev)	115	Краснов Л. О. (Leonid Krasnov)	10
Ахієзер О. Б. (Olena Akhiezer)	5	Кучук Н. Г. (Nina Kuchuk)	60
Байрамов А. А. (Azad Agalar ogli Bayramov)	115	Ланде Д. В. (Dmytro Lande)	102
Барабаш О. В. (Oleg Barabash)	111	Микусь С. А. (Serhii Mikus)	107
Барсов В. І. (Valeriy Barsov)	24	Мищенко А. О. (Anatoly Mischenko)	107
Бедерак Я. С. (Yaroslav Bederak)	123	Молчанов Г. І. (Heorhii Molchanov)	49
Борозенець І. О. (Igor Boroznets)	30	Моміт О. С. (Alexander Momit)	93
Бреславець В. С. (Vitaliy Breslavets)	142	Мороз О. Ю. (Olha Moroz)	19
Бульба С. С. (Serhii Bulba)	128	Несміян О. Ю. (Olexii Nesmiiian)	80
Волоцков Є. А. (Yevgeniy Volotskov)	97	Павленко М. А. (Maksim Pavlenko)	80
Гапон Д. А. (Dmitry Gapon)	123	Паршенцев Б. В. (Bogdan Parshencev)	19
Гришманов Д. Є. (Dmytro Gryshmanov)	80	Пасько Д. А. (Denys Pasko)	49
Давидов В. В. (Viacheslav Davydov)	49	Петришин Л. Б. (Lubomyr Petryshyn)	67
Данюк Ю. В. (Yuriy Danyuk)	80	Подорожняк А. О. (Andrii Podorozhniak)	97
Дергачов К. Ю. (Kostiantyn Dergachov)	10	Рисований О. М. (Oleksandr Rysovaniy)	76
Дзябенко О. (Olga Dziabenko)	142	Сабзієв Е. Н. (Elhan Nariman ogly Sabziev) ..	115
Дімітров М. С. (Martin Stoychev Dimitrov)	132	Сердюк І. В. (Iryna Serdiuk)	5
Дмитрієв О. М. (Oleg Dmitriev)	30	Серков О. А. (Aleksandr Serkov)	142
Дубницький В. Ю. (Valeriy Dubnitskiy)	88	Соболев А. М. (Artem Soboliev)	102
Дунаєвська О. І. (Olha Dunaievaska)	5	Співак С. В. (Semen Spivak)	5
Животовський Р. М. (Ruslan Zhyvotovskiy) ..	93	Табуненко В. О. (Volodimir Tabunenko)	137
Зиков І. С. (Ihor Zikov)	60	Толстолузька О. Г. (Olena Tolstoluzka)	19
Зимовін А. Я. (Anatoliy Zymovyn)	10	Тюрніков М. М. (Mykhailo Tiurnikov)	107
Зуєв А. О. (Andrey Zuev)	123	Чала О. В. (Oksana Chala)	54
Ізмайлов А. В. (Artem Izmailov)	67	Челядін О. О. (Oleksandr Cheliadin)	10
Калімулін Т. М. (Temir Kalimulin)	30	Шевцова О. С. (Olga Shevtsova)	97
Кобилін А. М. (Anatoliy Kobylin)	88	Шило С. Г. (Serhiy Shylo)	30
Кобилін О. А. (Oleg Kobylin)	88	Шишацький А. В. (Andrii Shyshatskyi)	107
Коваленко О. В. (Oleksandr Kovalenko)	41	Шматков С. І. (Sergiy Shmatkov)	60
Ковтун А. В. (Anatoliy Kovtun)	137	Шуклін Г. В. (German Shuklin)	111
Костерна О. Ю. (Olena Kosterna)	24	Яковенко І. В. (Igor Yakovenko)	142
Кошлань О. А. (Alexander Koshlan)	36		

Наукове видання

**Сучасні
інформаційні системи****Advanced
Information Systems**

Науковий журнал

Том 2, № 3

Відповідальний за випуск *С. Г. Семенов*Технічний редактор *Д. С. Гребенюк*Комп'ютерна верстка *Н. Г. Кучук*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 22522-12422Р від 13.01.2017 р.

Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 18,75. Тираж 120 прим. Зам. 925-18

Адреса редакції: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
Кафедра ОТП, вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна, тел. 707-61-65Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 24800000000106167 від 08.01.2009.61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua