ISSN 2522-9052

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

National Technical University
“Kharkiv Polytechnic Institute”

Сучасні інформаційні системи

Advanced Information Systems

Том 3, № 4 **Volume 3, No. 4**

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 29 листопада 2019 року № 10).

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

Харків • 2019

ЗМІСТ

МЕТОДИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

МЕТОДИ СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ

МЕТОДИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

TABLE OF CONTENTS

ADAPTIVE CONTROL METHODS

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS SYNTHESIS

INFORMATION SYSTEMS RESEARCH

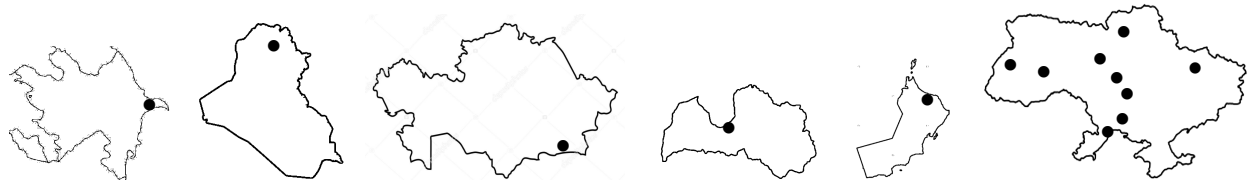
INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS

METHODS OF INFORMATION SYSTEMS PROTECTION

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); до категорії Б – наказом Міністерства освіти і науки України від 07.05.2019 № 612 (додаток 7, п. 33)

Географія статей номера



Азербайджан *Azerbaijan* | *Ірак* *Iraq* | *Казахстан* *Kazakhstan* | *Латвія* *Latvia* | *Оман* *Oman* | *Україна* *Ukraine*

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Наукове видання

Сучасні інформаційні системи

Advanced Information Systems

Науковий журнал

Том 3, № 4

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.

Підписано до друку 2.12.2019 Формат 60×84/8. Ум.-друк. арк. 18,25. Тираж 120 прим. Зам. 1202-19

Адреса редакції: Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"
Кафедра ОТП, вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків, Україна, тел. 707-61-65

Віддруковано 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**

Adaptive control methods

UDC 623.765:681.513.6 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.01**

O. Dmitriiev[1], G. Shcherbak[2], I. Borozenec[2], S. Shylo[2], M. Melnichuk[3], M. Herashchenko[4]

[1] Aircraft Academy of the National Aviation University, Kropyvnitskyi, Ukraine
[2] Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine
[3] Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine
[4] Institute for Testing and Certification of Arms and Military Equipment, Chernigiv, Ukraine

METHOD OF ADAPTIVE CONTROL OF THE INFORMATION MODEL'S DISPLAY PARAMETERS DEPENDING ON THE COMPLEXITY OF THE AIR SITUATION

Abstract. The present article represents structure, content and sequence of steps of the method of adaptive control of the information model's display parameters of the air situation. The problem describes complexity of the particular air situation in automated air traffic control system. The method assumes that the degree of complexity of the situation is recognized on the basis of heterogeneous data received from the sources. According to the results of experimental studies, we show the dependence of the average time of perception and the probability of error-free perception of the information model of the air situation by the operator on the coefficient of the overlapping forms.

Keywords: air traffic control; information environment interface; aircraft tracking form; decision-making support; air traffic operator activities; information model.

Introduction

Problem statement. The high dynamics of events that characterize the processes of air traffic organization, large flows of information that have to be operated by decision-makers (DM) in the automated air traffic management systems (AATMS), as well as the responsibility of the tasks they solve, led to wide introduction of modern automation and computer technology into the practice of the operating system [1]. The considerable technical capabilities of these tools make it possible to significantly improve the overall efficiency of use of the air traffic management information support system.

However, it should be noted that the effectiveness of automation and computer technology is largely determined by the function and place of operators in the control system. Ignoring the capabilities of an air traffic controller to receive and process information while performing his / her duties can lead to an aviation accident. For example, international statistics show that up to 50% of aviation accidents occur by the operator's fault [1–3]. According to the National Bureau of Investigation of Aviation Events and Incidents, over the last 3 years in Ukraine the accident rate for events with high-level consequences (catastrophe, accident and serious incident) has varied from 1.24 to 1.7 events per 100 thousand flight hours [4–6].

Therefore, the problem of rational synthesis of "man-machine" systems in the AATMS is one of the most urgent. One of the important points in this case is the resolution of issues related to the provision of the operator with the necessary information about the air situation (AS), as this is to a large extent ensures the timeliness and correctness of management decisions.

As the conditions of the system functioning and the individual features of DM vary widely, such interaction should be adaptive [3]. This involves taking into account the design and operation of the means of displaying information (MDI) about the AS of those functions performed by the human operator, as well as his/her current psycho-physiological state in the course of performing his/her functional duties. In this case, the structure and characteristics of the information model (IM) in the means of displaying the information of the AATMS must change depending on the AS status in order to achieve the highest efficiency of the air traffic control point manager's performance of their functional duties [7, 8]. Large amounts of information and the random nature of its distribution in the area of the information model on the screen of the display device cause the effect of information overlap [7]. Therefore, the synthesis of IM should be carried out taking into account the impact of the negative effects of the specified effect on the activities of the operator.

Research publications. One of the main functional elements of the AATMS in the organization of air traffic is an observation system that provides relevant information, which is continuously updated in real time. The MDI for displaying AS information supporting the operations of the AATMS controller, as a minimum, display aircraft location information, mapping information required for surveillance based air traffic, and, where appropriate, identification and flight level information of aircraft flights [7, 9].

An aircraft displayed on AS display screen by the radar tag has a so-called support form next to it, which contains the desired current flight information for the operator [7, 10–17].

All information on support forms is represented in a Detailed or Untagged (Tagged) forms [7]. Forms are mapped to the appropriate mapping of the aircraft's location so as to prevent the air traffic operator from misidentifying the object.

Analysis of a number of papers and guidelines [7, 18, 19] shows that a detailed support form for an

aircraft in most modern AATMSs has up to 14 information elements (dot-matrix fields). These include: call sign, sector identifier, aircraft type, current altitude (flight level), entry/exit point of the sector, speed, destination aerodrome, preset altitude (flight level), etc. (Fig. 1).

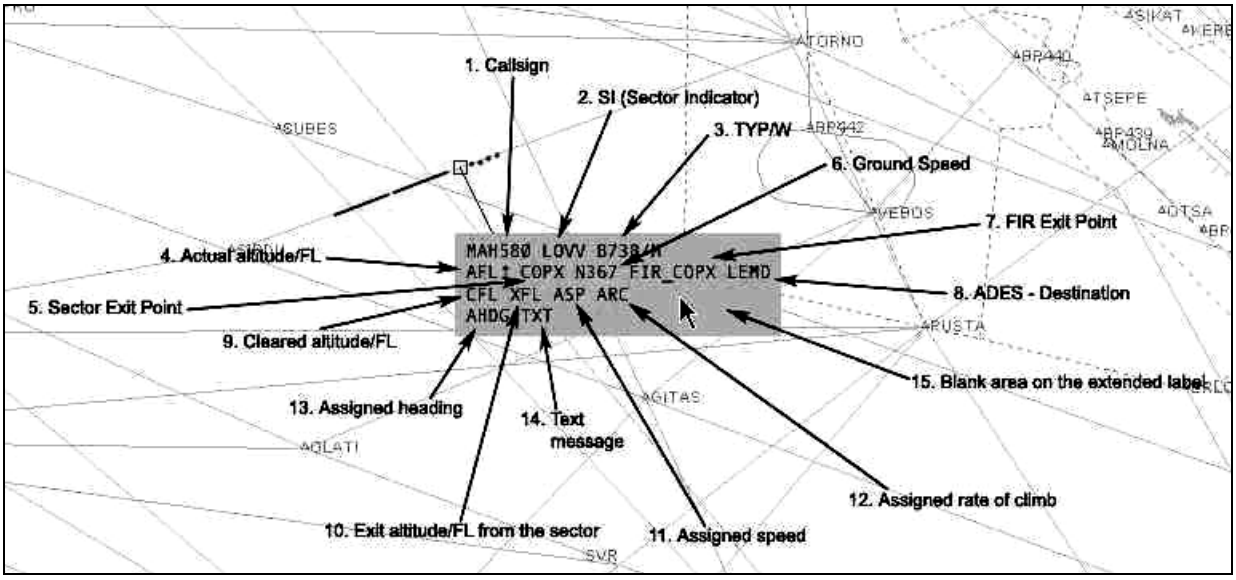


Fig. 1. Information representation in the detailed form of the aircraft support

The content of the information elements of the aircraft support form allows the AATMS operator to obtain any information about an individual aircraft that is required in the performance of functional duties. But at the same time while displaying several forms there is such a negative effect as the overlap of information, which in turn significantly complicates the perception of the current air situation by air traffic operator.

The research aims and objectives. At present, the tasks of adaptive control of displaying the information model parameters in the centers of air traffic organization are carried out in a non-automated mode. Moreover, the operator uses only two methods: moving the desired aircraft form in the free zone of IM and choosing another display mode, which leads to a reduction in the number of dot-matrix fields in the form. This increases the time of air traffic management and decreases the likelihood of a true AS evaluation. Therefore, the urgent task is to develop a method of adaptive control of the information model's display parameters, depending on the complexity of the situation in the area of responsibility of air traffic control center, which should provide the proper conditions for prompt and reliable assessment by the AATMS operators of each of the possible air situations.

Research bases

The situations of aircraft support forms' overlapping often arise in the activities of air traffic control centers at the workplace of air traffic operators [9]. The more forms are used, the more difficult are the conditions for their perception.

The aircraft support forms' overlapping is characterized by the size of their intersection area. To quantify this property, we use a generic indicator – the overlap ratio of forms – $K_н$, that characterizes the average overlap of all intersecting forms. This indicator is defined as [20]:

$$K_н = S_н / NS_f \ , \ 0 \le K_н \le 1 , \qquad (1)$$

where $S_н = \sum_i S_{н_i}$, $i = \overline{1, N}$ – the total area of the sections of overlapping forms; $S_{н_i}$ – the area of the i-th form (F_i) that intersects with at least one of the forms; S_f – area of one form, provided

$$S_{f_1} = S_{f_2} = ... = S_{f_i} , \ S_f = S_{f_i} .$$

If the areas are not the same, we have:

$$S_f = \sum_i S_{f_i} / N . \qquad (2)$$

Such indicator gives only an overall average estimation of the overlap. With relatively small $K_н$ values, overlaps of aircraft support forms may contain those that are not identifiable at all or require a great deal of time. This leads to a significant reduction in the likelihood of error-free perception of situation information (SI), which is inadmissible.

In the presence of information on the degree of distortion of specific forms, we can take measures to reduce the negative impact of form overlap in the dynamics of AS evaluation. Therefore, it is advisable to use an indicator that characterizes the degree of intersection of each support form with all others. This metric may be the overlap ratio F_i:

$$K_{н_i} = \frac{S_{н_i}}{S_{f_i}} , \quad 1 \ge K_{н_i} \ge 0 , \qquad (3)$$

where $S_{н_i}$ – total intersection area of the i-th form with all others.

The degree of distortion of the dot-matrix fields of the maintenance form, as well as the time of perception of AS information (t_c) and the probability of its error-free

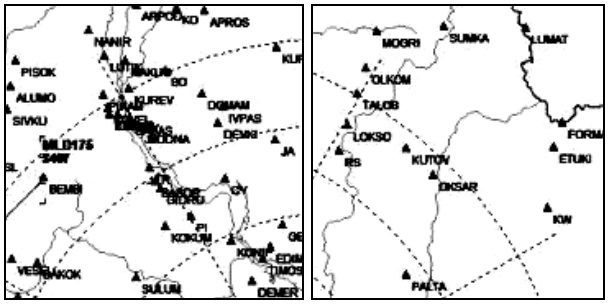
perception (P_{bc}) depends on the value $K_{н_i}$. According to results of theoretical-experimental researches [13, 20] the probability of error-free interpretation of information by the operator and the average time of its perception is described by the equations:

$$P_{bc} = 1 - aK_н^4, \quad (4)$$

$$t_c = b + cK_н^3; \quad (5)$$

where a, b, c – smoothing coefficients that significantly depend on the operator's qualification are defined as follows: a = 0.14; b = 0.64; c = 1.83.

The analysis of these dependencies shows that due to the overlap effect, the average time of perception of the aircraft support form increases approximately 2 times. There are also cases of such distortion of the form signs, when their interpretation is completely impossible. The average probability of error-free perception of aircraft information may decrease 1.8 times, depending on the $K_н$. Two types of information models were used in the experimental studies. The first type of IM reproduced the situation with overlapping forms of aircraft support, the second type of IM showed the presentation of the same situation without forms' overlapping. The variants of the investigated IM are shown in Fig. 2. Comparative analysis of these information models was made under the same SI conditions. According to the procedures approved in [18], the operators had a task to determine the type, height and speed of aircrafts while displaying 20 – 30 aircraft support forms. The main results of the experiment are given in table 1.



a b

Fig. 2. Options of the investigated IM (a) with overlapping aircraft forms (b) without overlapping

Table 1 – **Results of experimental studies**

Type of task	$\overline{t_c}$, sec	P_{bc}
Single overlap	28.90	0.796
Double overlap	81.93	0.523
Without overlap	13.63	0.932

The obtained indicators show that:

- for single overlap of aircraft forms ПС $\overline{t_c}$ increases no less than 2 times;

- for double overlap of aircraft forms ПС $\overline{t_c}$ increases no less than 6 times;

- for single overlap of aircraft forms ПС, the P_{bc} probability is reduced by 1.2, and for double overlap – by 1.8.

The above values allow us to evaluate the promptness and reliability of the decision made by the AATMS operators.

By increasing the volume of AS display to 100 aircraft forms it is possible to expect with a high degree of probability that $\overline{t_c}$ will increase at least 7 times with a significant P_{bc} decrease.

Thus, the overlap of aircraft support forms suggests that one should expect a large amount of time to search and perceive critical aircraft forms, which can significantly affect the quality of DM operational work.

It should be noted that in practice, in such situations, the air traffic controller is forced to call on other persons of the next shift to obtain information which he cannot perceive because of the overlap of aircraft support forms. The time of receiving this information may be the same as the time of AS perception as a whole, meaning that the performance of the overall AS evaluation by the operator will be further reduced.

Let's analyze the existing methods of reducing the negative impact of the aircraft support forms' overlapping on the activities of the air traffic operator. First of all, you need to consider the factors that overlap depends on. The analysis of equations (4, 5) shows that the main factors are the number of aircraft forms displayed (N); form area (S_f); and display scale (M).

The effect of the overlap will be as big as the volume of display of the aircraft support forms. For example, in [20] it is shown that when changing N from 100 to 20, the overlap coefficient decreases by 2 – 2.5 times. The number of forms displayed depends on the AS and on the grouping of the aircraft. As shown earlier, value N can vary widely. For example, up to 250 forms may be displayed in some AATMS [11].

Value N can be reduced by selection of aircraft according to certain features. However, in this case, AS that is not adequate to the actual one is displayed. And this, in turn, can distort the assessment of the overall situation.

It should be noted that, due to the uneven distribution of aircraft support forms on the monitor screen, a decrease of N indicator may have a negligible effect on the manifestation of the overlap effect.

At a fixed scale of IM reflection, the effect of overlay manifests itself as strong as the linear dimensions of acquaintances and their number in the form, because these values characterize the S_f values. The size of the characters on the screen of the monitor significantly affects the conditions of their perception. Ergonomic requirements set the optimal size of characters that do not change when scaling them. Taking into account these requirements we obtain for 5-digit form – S_f = 29.3 mm^2, and for 25-digit, complete form – S_f = 94.2 mm^2.

Therefore, the use of short aircraft forms can reduce the value $K_н$ by about 3.5 times. In this case, the informative nature of the forms significantly reduces, and the operator needs to spend additional time

to change the way the form is displayed to obtain additional information.

The linear dimensions of the aircraft support form, based on the scale of the display, can be represented as follows:

$$l_x = \Delta x M,\ l_y = \Delta y M, \quad (6)$$

where Δx, Δy – linear dimensions of the form horizontally and vertically, (cm); M – scale of IM display (number of kilometers in one centimeter).

Provision of the operator's workplace equipment with an additional display device will allow to expand the IM field of view and ensure the adequacy of displayed AS information.

The advantage of this method of display is the large scale of the view field that allows the optimum perception of information by the air traffic controller. The disadvantage is the time spent on "switching" the operator's sight between the screens of the monitor, followed by the mandatory identification of the aircraft.

The use of new information technology now eliminates the mentioned disadvantages through the use of AS tools that allow the creation of a "poly screen" in the IM information field, or zoom in on the selected area (magnifying glass effect) to display the forms of support for the aircraft that should be separated.

The advantage of the method of displaying information with the use of multi-screen means is to reduce the time spent on transferring the gaze of DM, which in turn leads to a decrease in the time of information search. The disadvantage is that the display device's information field is heavy.

Using the magnifier mode allows you to view any area of the IM on a larger scale.

Thus, changing the scale of the mapping can significantly reduce the negative impact of the overlap of aircraft forms on DM activities.

Given the above, let us consider the basic processes that are associated with the recognition of information overlap in terms of AS evaluation. The [21 – 23] analyzed the recognition methods that can be used to solve the problem.

These methods are used when a large amount of information needs to be processed to make decisions in the context of uncertainty and redundancy. In this case there was a need to develop a simpler and, nevertheless, sufficiently more reliable method of recognition.

The use of any of the considered methods of displaying AS information is inevitably linked to the following operations:

- detection of the aircraft support forms overlapping, that is, the actual recognition of the forms overlapping;
- determining the priorities for servicing (scaling) the aircraft support forms overlapping;
- implementation of control effects on the AS modules of the information model display system.

If there are multiple scaling options available to the DM (optional display device, multi-screen, magnifier), he may choose the one that he prefers in the particular situation.

In relatively simple AS (with 3 – 4 form overlaps), the air traffic operator can perform these operations quite easily. In this case, there will be inevitable additional time spent on establishing the priority of overlaps and manipulation by the control elements. This situation may be eligible if there is no hard time deficit.

It should be noted that even in a simple situation, it may be difficult to set the priority of the overlap service. These difficulties are caused by distortions in the familiarity of the forms that characterize the importance of individual aircraft.

In complex AS, when there is a large amount of overlaps and acute shortage of situation assessment and decision making, it is advisable to use adaptive automated scaling of the displayed information. Such management will reduce the time spent on assessing the situation in the area of responsibility of the AATMS command unit by about 10 ... 15%.

Here are some basic assumptions used in developing one of the adaptive scaling controls for displaying information about the air situation.

As noted earlier, the more the aircrafts forms are overlapped, the more difficult will be the conditions of their perception by the operator. There can be 2, 3 or more times form overlapping, even with relatively small K_{H_i} values. This fact should be taken into account in order to process overlaps with a large number of forms under the same conditions.

Therefore, we introduce the sign of the aircraft support forms' overlap: $\pi_{H_i} = 0$ – there is no overlap on the F_i form; $\pi_{H_i} > 0$ – there is an overlap of other forms on the F_i form, the number of which characterizes this value. For example, $\pi_{H_i} = 1$ – there are two forms in one overlap (F_j form overlaps F_i form), $\pi_{H_i} = 2$ – there are three forms in one overlap (two forms overlap F_i form), etc.

Recognizing the overlap of aircraft support forms is in fact identifying those forms that intersect with F_i form. After the overlap effect is detected, it is necessary to determine the value K_{H_i} for this overlap. As a result, indices K_{H_i} and π_{H_i} are determined for each aircraft support form displayed on the monitor screen.

Thus, to establish the fact of overlapping F_j form on the F_i form, it is sufficient to compare the coordinate differences of the corresponding aircrafts ((x_j, y_j) and (x_i, y_i)), $\Delta x_i = x_i - x_j$, and $\Delta y_i = y_i - y_j$ with the dimensions of the form with respect to the scale used (l_x and l_y respectively), that is, in this case, the strobbing of forms.

A form that has hit the strobe is considered to be overlapping with the F_i form. It should be noted that $\pi_{H_i} \neq 0$ will be if $|\Delta y| < l_y$.

To simplify the overlap search procedure, we introduce an array of aircrafts displayed on the screen of the AATMS monitor, in which they are placed in descending order $z = (x_i, y_i, w_i)$ at $x_1 \geq x_2 \geq \ldots \geq x_N$;

i = 1, 2, …, N, where w_i is the importance of the i-th aircraft. The analysis of the stated provisions and considerations of practical feasibility allow us to suggest the structure, content and sequence of stages for development of the adaptive control method of the IM AS display (Fig. 3).

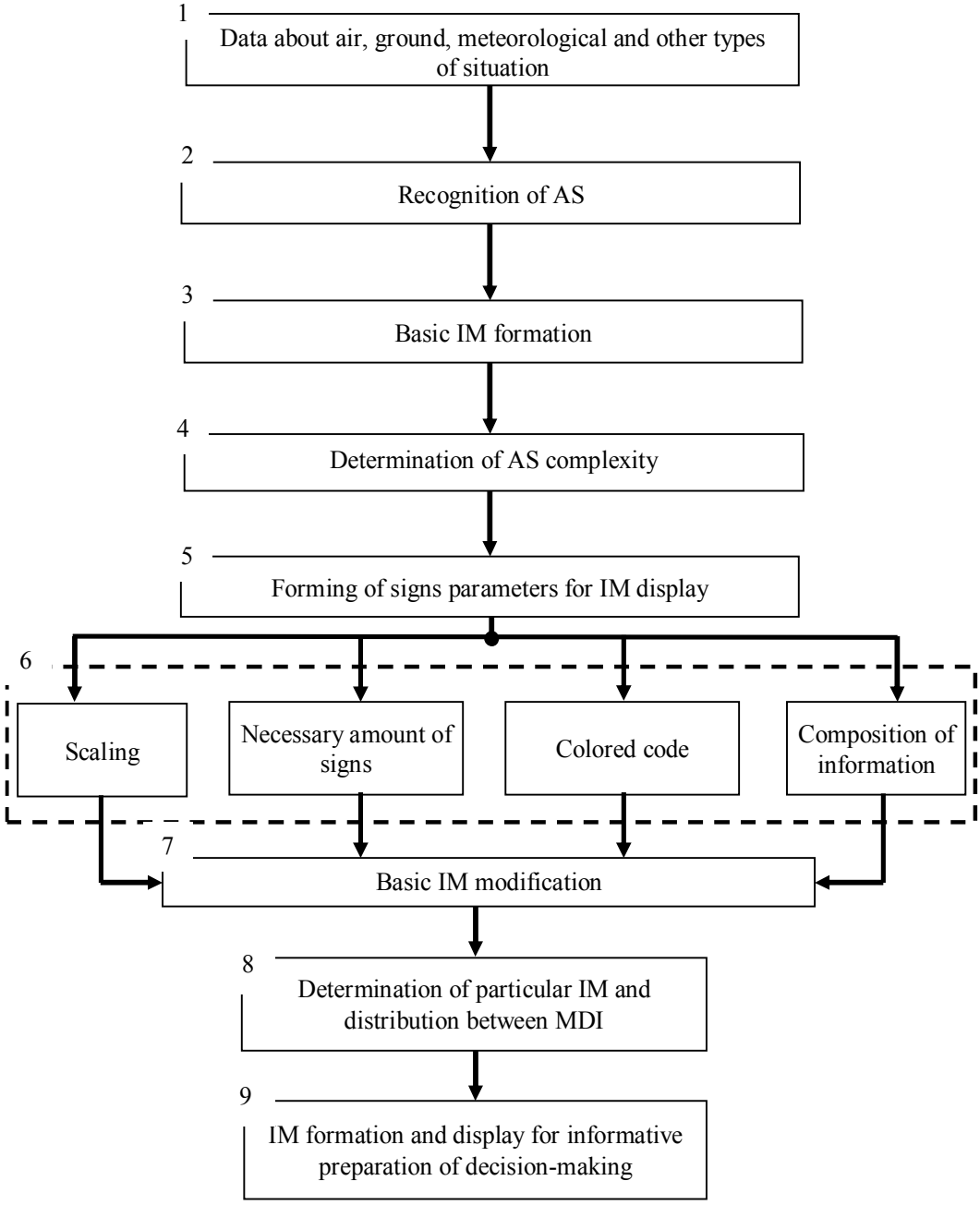


Fig. 3. Structural diagram of the method of adaptive control of the information model's display of the air situation

The method allows to establish, in practice, the fact of overlapping and to determine the number of aircraft support forms' overlapping with F_i.

Value S_{H_i} is defined for each aircraft support form.

The implementation of the proposed method of adaptive control of AS display allows formation of an array of Z_H overlapping forms. Its elements are x_i, y_i, w_i together with S_{H_i} and π_{H_i}. Thus, the preparatory stage of adaptive IM control displayed on the monitor is to form an array Z_H.

The next step is to set the priority of processing the aircraft trajectories' overlapping. For this purpose you can use w_i, S_{H_i} and π_{H_i}.

Therefore, we suggest a possible implementation of the control of overlapping aircraft support forms' display.

First of all, it is necessary to ensure a quick error-free perception of the most important aircrafts by the air traffic operator.

Therefore, in order to exclude the influence of the aircraft support forms' overlapping effect on the

perception of Z_H information, we should first of all choose F_i with maximum value of w_i.

The priority is then given to the overlapping forms with maximum value of K_{H_i} (or π_{H_i}).

Establishing rules for managing the display of AS information with overlapping forms of aircraft support requires additional special research.

We should take into account the specifics of displaying IM of the air situation and solving the problems of air traffic control by the AATMS operators in a difficult situation. These studies are expected to be completed in the near future.

Conclusions

The proposed method of adaptive control of the information model's display on the MDI of the automated air traffic management systems, in contrast to the known ones, provides: possibility of establishing the fact of the aircraft support forms' overlapping and determining the number of overlapping forms; use of new information technologies that allow to adapt to the complexity of the air situation to establish the necessary modes for displaying aircraft support forms to be separated, prioritizing the processing (scaling) of aircraft support forms' overlapping.

REFERENCES

1. Szalma, J.L. (2014), "On the application of motivation theory to human factors/ergonomics: Motivational design principles for human-technology interaction", *Human Factors*, No. 8 (56), pp. 1453–1471.
2. Salmon, P.M., Cornelissen, M. and Trotter, M.J. (2012), "Systems-based accident analysis methods: A comparison of Accimap, HFACS, and STAMP", *Safety science*, No. 4 (50), pp. 1158–1170.
3. Wiegmann, D.A. and Shappell, S.A. (2016), *A human error approach to aviation accident analysis: The human factors analysis and classification system*, Routledge, New York, 184 p.
4. *Analysis of the safety status of flights with Ukrainian civilian aircraft following the investigation of aviation events and incidents in 2013-2017*, (2019), available at: http://www.nbaai.gov.ua/uploads/ pdf/Analysis_5Y.pdf
5. *Report on the performance of flight safety oversight functions in the air traffic management system in Ukraine for 2017*, (2018), available at: https://avia.gov.ua/wp-content/uploads/2016/12/Ukraine-ANS-Safety-Oversigh-Report-2017.pdf
6. *Flight Safety Analysis Based on Investigation of Aviation Events and Incidents with Ukrainian Civil Airlines and Foreign Registration Vessels in 2018*, (2019), available at: http://www.nbaai.gov.ua/uploads/pdf/Analysis2018.pdf
7. *Air Navigation Services Rules. Air Traffic Management / Doc 4444. Sixteenth Edition* (2016), ICAO, Montreal, 508 p.
8. *Aviation Rules of Ukraine "Technical Requirements and Administrative Procedures for Flight Operation in Civil Aviation"*, (2018), available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1109-18
9. *Aerodrome design manual. Part 4 Visual Aids/ Fourth Edition* (Doc.9157, AN/901) (2004), ICAO, Montreal, 195 p.
10. *Software to provide Air Traffic Control services on VATSIM* (2019), available at: https://www.vatsim.net/air-traffic-control/software
11. Rizwan, Y., Waslander, S.L. and Nielsen, C. (2011), "Nonlinear aircraft modeling and controller design for target tracking", *Proceedings of the 2011 American Control Conference*, IEEE, pp. 3191–3196.
12. Tischler, M.B. (2018), *Advances in aircraft flight control*, Routledge, London, 750 p.
13. Jategaonkar, R.V. (2014), *Flight vehicle system identification: A time-domain methodology*, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, 627 p.
14. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I.E., Svyrydov, A. and Kharchenko, V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*", vol 171, Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.), Springer Nature Switzerland AG, pp. 161-183, DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8
15. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficienty 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, DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201
16. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Mozhaiev; M. and Kuchuk, H. (2017), "Method for calculating of R-learning traffic peakedness", *4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017*, pp. 359–362. URL : http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416
17. Kovalenko, A.A. (2014), "Approaches to the synthesis of the information structure of the system for managing an object of critical application", *Information Processing Systems*, No. 1 (117), pp. 180-184.
18. *Rules for air traffic service notification*, (2012), available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0958-12
19. *The main directions of development of armaments and military equipment for the long term*, (2017), available at: https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/250071205
20. Borozenec, I.O., Dmitriiev, O.M. and Mazharov, V.S. (2019), *Information support for decision makers in automated air traffic control systems,* Eksklyuziv-Sistem, Kropivnickij, 150 p.
21. Pavlenko, M.A., Shylo, S.G., Borozenec, I.O. and Dmitriiev, O.M. (2018), "Procedure for the assessment of the degree of danger of the situation of the situation for the decision support system in air traffic control systems", *Systems of Control, Navigation and Communication*, No. 6 (52), pp. 25–29, http://dx.doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.025
22. Shylo, S.G., Dmitriiev, O.M. and Novikova, I.V. (2018), "Method of formalizing knowledge about situational situation analysis for decision support system of automated air traffic control system", *Suchasni informacijni tekhnologiï u sferi bezpeki ta oborony*, No. 3 (33), pp. 93–98.
23. Shcherbak, G.V., Borozenec, I.O., Shylo, S.G., Dmitriiev, O.M. and Kukobko, S.V. (2019), "Algorithm for adaptive scaling of information model of air display imaging", *Sistemy obrobki informaciï*, No. 3 (158), pp. 27–35.

Надійшла (received) 28.08.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 30.10.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Дмітрієв Олег Миколайович – кандидат технічних наук, завідувач кафедри, Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна;
Oleh Dmitriiev – Candidate of Technical Sciences, Department Chair, Aircraft Academy of the National Aviation University, Kropivnitsky, Ukraine;
e-mail: dmitronik70@i.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-1079-9744

Щербак Геннадій Владиславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Gennadiy Shcherbak – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: itisu@i.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-8462-6147

Борозенець Ігор Олексійович – кандидат технічних наук, старший викладач, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Igor Borozenec – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: semjab@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-1162-9966

Шило Сергій Георгійович – кандидат технічних наук, доцент, викладач, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна;
Serhiy Shylo – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer at the Department, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: shilosg@i.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-5782-552X

Мельничук Марина Геннадіївна – кандидат психологічних наук, старший викладач кафедри, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;
Marina Melnichuk – Candidate of Psychological Sciences, Senior lectures KhNU of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: m.g.melnichuk@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/ 0000-0002-2895-0978

Геращенко Марина Олександрівна – науковий співробітник – інженер-випробувач науково-дослідного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна;
Maryna Herashchenko – Researcher – Test Engineer of Scientific Research Department State Research Institute for Testing and Certification of Arms and Military Equipment, Chernigiv, Ukraine;
e-mail: mavra08@ukr.net, ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-2312-7149

Метод адаптивного управління параметрами відображення інформаційної моделі в залежності від складності ситуації в повітряному просторі

О. М. Дмітрієв, Г. В. Щербак, І. О. Борозенець, С. Г. Шило, М. Г. Мельничук, М. О. Геращенко

Анотація. У роботі пропонується структура, зміст та послідовність етапів методу адаптивного управління параметрами відображення інформаційної моделі повітряної обстановки в залежності від складності ситуації в зоні відповідальності автоматизованої системи управління повітряним рухом. Методом передбачається, що на основі отриманих різнорідних даних від джерел розпізнається ступень складності ситуації обстановки. Формуються параметри ознак для відображення інформаційної моделі шляхом визначення складу інформації, кольорового кодування, визначення необхідної кількості ознак та масштабування необхідних інформаційних елементів. Це дозволяє модифікувати базову інформаційну модель та розподілити її між відповідними засобами відображення інформації. В підсумку формується необхідна інформаційна модель для підтримки прийняття рішення. Також досліджено можливості врахування ефекту накладення формулярів супроводу повітряних суден при формуванні інформаційної моделі повітряної обстановки. За результатами експериментальних досліджень отримано залежності середнього часу сприйняття та ймовірності безпомилкового сприйняття інформаційної моделі повітряної обстановки оператором від коефіцієнту накладення формулярів.

Ключові слова: управління повітряним рухом; інтерфейс інформаційного середовища; формуляр супроводу повітряного судна; підтримка прийняття рішення; діяльність авіадиспетчера; інформаційна модель.

Метод адаптивного управления параметрами отображения информационной модели в зависимости от сложности ситуации в воздушном пространстве

О. Н. Дмитриев, Г. В. Щербак, И. А. Борозенец, С. Г. Шило, М. Г. Мельничук, М. А. Геращенко

Аннотация. В работе предлагается структура, содержание и последовательность этапов метода адаптивного управления параметрами отображения информационной модели воздушной обстановки в зависимости от сложности ситуации в зоне ответственности автоматизированной системы управления воздушным движением. Метод предполагает, что на основе полученных разнородных данных от источников распознается степень сложности ситуации обстановки. Формируются параметры признаков для отображения информационной модели путем определения состава информации, цветного кодирования, определения необходимого количества признаков и увеличения необходимых информационных элементов. Это позволяет модифицировать базовую информационную модель и распределить ее между соответствующими средствами отображения информации. В итоге формируется необходимая информационная модель для поддержки принятия решения. Также исследованы возможности учета эффекта наложения формуляров сопровождения воздушных судов при формировании информационной модели воздушной обстановки. По результатам экспериментальных исследований получены зависимости среднего времени восприятия и вероятности безошибочного восприятия информационной модели воздушной обстановки оператором от коэффициента наложения формуляров.

Ключевые слова: управление воздушным движением; интерфейс информационной среды; формуляр сопровождения воздушного судна; поддержка принятия решения; деятельность авиадиспетчера; информационная модель.

Methods of information systems synthesis

УДК 528.946 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.02**

С. М. Андрєєв, В. А. Жилін

Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

КАРТОГРАФІЧНІ МОДЕЛІ МІСТА ХАРКОВА ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

Анотація. Предметом дослідження є методика побудови тематичних картографічних моделей для аналізу і прийняття рішення стосовно інфраструктурної обстановки в населених пунктах щодо її доступності людям з обмеженими можливостями. **Об'єктом дослідження** є процес створювання різноманітних типів тематичних картографічних моделей, що містять специфічну інформацію щодо доступності певних територій для осіб з обмеженими фізичними можливостями. **Метою роботи є** підвищення мобільності людей з обмеженими можливостями за рахунок інформаційної підтримки на основі актуальних картографічних моделей на прикладі міста Харкова. **Висновки.** Проаналізовано загальну ситуацію та статистичні дані за станом інвалідності громадян в Україні та країнах ЄС. Визначено, що в Україні понад 2,6 млн. людей мають статус інваліда. Це становить 6,1% від загальної чисельності населення, і ці показники щорічно зростають. Майже 80% інвалідів в Україні — це люди працездатного віку. На 1 січня 2016 питома вага осіб, що мають I групу інвалідності, склала 10,7% (250,3 тис. осіб), II групу — 37,8% (919,0 тис. осіб), III групу — 45,5% (1 291,2 тис. осіб). Найпоширенішими хворобами, які призводять до інвалідності, є хвороби системи кровообігу (24,4%), злоякісні новоутворення (20%), хвороби кістково-м'язової системи (11,1%), хвороби очей (3,7%), ендокринні хвороби, розлади харчування та порушення обміну речовин (4,2%). Проаналізовано основні ознаки доступності для інвалідів можливості ведення незалежного життя. Виконано огляд проектів підтримки людей з обмеженими можливостями в Україні. В рамках виконання у місті Харкові Міжнародного проекту «Secondary Cities» із захисту соціально вразливих верств населення України розроблено та впроваджено методику побудови картографічних моделей для людей з обмеженими можливостями. Запропонована методика надає громадянам та керівництву будь-яких адміністративних територіальних одиниць України перспективи для забезпечення особам з інвалідністю можливості користуватися усіма конституційними правами людини і основними свободами без дискримінації.

Ключові слова: люди з обмеженими можливостями; картографічні моделі; забезпечення свобод без дискримінації.

Вступ

Принципи людського різноманіття і людської гідності на планеті Земля полягають, між іншим, і в тому, що інвалідам треба надавати можливості користуватися всіма правами людини і основними свободами без дискримінації. Це знайшло відображення в преамбулі та в усіх статтях Конвенції про права інвалідів (КПІ) і Факультативному протоколі до неї, що були прийняті в Україні 16 грудня 2009 року та вступили до чинності 6 березня 2010 року.

Забороняючи дискримінацію за ознакою інвалідності та передбачаючи необхідність розумного врахування потреб інвалідів з метою забезпечення людської рівності, Конвенція сприяє повній участі інвалідів у всіх сферах життя. Встановлюючи зобов'язання заохочення позитивних уявлень і більш глибокого розуміння суспільством проблем інвалідів, Конвенція відкидає звичаї та поведінку, засновані на стереотипах, упереджених думках та забобонах щодо інвалідів. За рахунок створення механізму розгляду скарг в Факультативний протокол до Конвенції інвалідам гарантується рівне право на відшкодування у разі порушення прав, закріплених в Конвенції.

Важливо відзначити, що в Конвенції та Факультативному протоколі до неї ставляться під сумнів сформовані уявлення про інвалідність як про медичну проблему, для вирішення якої прийнято покладатися насамперед на жаль чи благодійність, і пропонується розширення можливостей правозахисного підходу до інвалідності.

Реалізація нових історичних рішень згідно парадигми Конвенції вимагає правильного розуміння її положень усіма, хто має брати участь у їх здійсненні: від урядовців до парламентаріїв і суддів; від представників спеціалізованих установ, фондів і програм Організації Об'єднаних Націй до фахівців в таких областях, як освіта, охорона здоров'я та допоміжні послуги; від організацій громадянського суспільства до співробітників національних правозахисних установ; від роботодавців до представників засобів масової інформації, організацій інвалідів та широкої громадськості.

Аналіз ситуації з інвалідністю в Україні та загальна характеристика людей з обмеженими можливостями як соціальної групи. Відповідно до Декларації про права інвалідів (ООН, 1975 р.) інвалідом (лат. *invalidus* — безсилий, хворий) є будь-яка особа, що не може самостійно забезпечити повністю або частково потреби нормальної особистісного та (або) соціального життя в силу недоліку, будь то вродженого чи ні, його (або її) фізичних або розумових можливостей. Поняття "інвалід" необхідно відносити не стільки до суб'єкта життєдіяльності, стільки розглядати його як соціальне явище, а саме результат взаємодії психофізичних обмежень та бар'єрів соціального характеру.

Згідно статті 2 Закону України "Про основи соціальної захищеності інвалідів в Україні" інвалідом

є особа зі стійким розладом функцій організму, зумовленим захворюванням, наслідком травм або з уродженими дефектами, що приводить до обмеження життєдіяльності, до необхідності в соціальній допомозі та захисті.

Розрізняють 5 категорій інвалідів із такими порушеннями:

1) фізичні недоліки, а саме порушення опорно-рухового апарату;

2) порушення інтелекту та психічні захворювання;

3) порушення функцій слуху (глухі та слабочуючі);

4) порушення функцій зору (сліпі та слабозорі);

5. порушення роботи внутрішніх органів, тобто інваліди по "загальному" захворюванню.

Залежно від ступеня втрати здоров'я дорослим встановлюється одна з трьох груп інвалідності:

I група інвалідності — особа, яка повністю втратила працездатність і вимагає постійної опіки;

II група інвалідності — особа здатна до самообслуговування, але не здатна до праці в звичайних виробничих умовах;

III група інвалідності встановлюється тим, хто здатен працювати в полегшених умовах.

Першим бар'єром, що ставить перед людиною інвалідність є фізичне обмеження, або ізоляція інваліда, обумовлені або фізичними, або сенсорними, або інтелектуально-психічними недоліками, що заважають йому самостійно пересуватися й (або) орієнтуватися в просторі. Таке обмеження спричиняє багато наслідків, що ускладнюють положення інваліда, і вимагає вживання спеціальних заходів, які усувають просторову, транспортну, побутову ізоляцію інваліда, емоційну депривацію (лат. *Deprivatio* – втрата, позбавлення) й забезпечують можливість трудової адаптації.

Другий бар'єр — це трудова сегрегація, або ізоляція інваліда, коли через свою патологію індивід з обмеженими можливостями має вкрай вузький доступ до робочих місць або не має його зовсім. В умовах "дикої" ринкової економіки адаптація робочих місць для таких індивідів розглядається роботодавцями як невигідна й небажана.

Третім бар'єром у житті інвалідів виступає малозабезпеченість, що є наслідком соціально-трудових обмежень: інваліди змушені існувати або на невисоку заробітну плату, або на допомогу (яка теж не може бути достатньо забезпечити гідний рівень життя індивіда).

Важливим і досить важко подоланим бар'єром для інваліда є просторово-середовий. Навіть у тих випадках, коли особа з фізичними обмеженнями має засоби пересування (протез, крісло-коляска, спеціально обладнаний автомобіль), сама організація житлового середовища й транспорту не є поки дружньої до інваліда. Зазвичай, бракує встаткування та пристосувань для побутових процесів, самообслуговування, вільного пересування.

Імовірно, для всіх типів інвалідів важливою перешкодою представляється інформаційний бар'єр, що має двосторонній характер. Інваліди утруднені в одержанні інформації як загального плану, так і тієї що має безпосереднє значення для них (вичерпні відомості про свої функціональні порушення, про заходи державної підтримки інвалідів, про соціальні ресурси цієї підтримки).

Звичайно, структурована інформація потрібна тільки тим інвалідам, які мають збережений або відносно збережений інтелект, якийсь мінімальний рівень здатностей до пізнання, критичної оцінці навколишньої дійсності та до самооцінки. З іншого боку, існує інформаційний бар'єр, що відгороджує суспільство від інваліда: особам з обмеженими можливостями набагато складніше презентувати свої погляди й позиції, донести до суспільства свої потреби та інтереси. Тому можуть виникати перекручені погляди про потреби інвалідів, особливостях їх особистості. На основі таких перекручених поглядів виникають забобони й фобії, що ускладнює комунікації між інвалідом і соціумом.

Емоційний бар'єр також є двостороннім, він може складатися з непродуктивних емоційних реакцій навколишніх щодо інваліда — цікавості, глузування, незручності, почуття провини, гіперопіки, страху й таке інше, також фруструючих емоцій самого інваліда: жалість до себе, недоброзичливість стосовно навколишніх, очікування гіперопіки, прагнення обвинуватити когось у своєму дефекті, прагнення до ізоляції й таке інше. Подібний комплекс ускладнює соціальні контакти в процесі взаємин інваліда та його соціального середовища. І сам індивід з обмеженими можливостями, і його найближче оточення гостро мають потребу в тому, щоб емоційний фон їх взаємин був нормалізованим.

Нарешті, комплексний характер має комунікативний бар'єр, що обумовлений кумуляцією дії всіх перерахованих вище обмежень, які деформують особистість людини. Розлад спілкування, одна з найбільш важких соціальних проблем інвалідів, є наслідком і фізичних обмежень, й емоційної захисної самоізоляції, і випадання із трудового колективу, і дефіциту звичної інформації.

З метою гуманізації та демократизації суспільних процесів поняття інвалід заміняється таким поняттям як "людина з обмеженими можливостями".

При ліквідації всіх бар'єрів особи з обмеженими можливостями отримують право в повній мірі брати участь в житті суспільства, приносячи йому цілком відчутну вигоду. Таким чином, бар'єри на шляху інвалідів завдають шкоди суспільству в цілому, а елемент доступності є складовою частиною прогресу та розвитку суспільства.

Конвенція про права інвалідів визнає, що наявність бар'єрів є центральним компонентом інвалідності. Відповідно до Конвенції, концепція інвалідності еволюціонує «в ході подолання людьми з порушеннями різних поведінкових і екологічних бар'єрів, що перешкоджають їх повній та ефективній участі у житті суспільства нарівні з іншими». Зокрема, Конвенція закликає держави-учасники вживати належних заходів для забезпечення того, щоб інваліди мали доступ до всіх аспектів життя суспільства на засадах рівності з іншими громадянами, а

також для виявлення та усунення перешкод і бар'єрів, що заважають доступності.

Аналіз статистичних даних щодо інвалідності у країнах ЄС та в Україні. На сьогоднішній день населення світу становить близько 7,7 мільярдів осіб. Понад 1 мільярд людей, що відповідає 15% населення світу, мають ту чи іншу форму інвалідності.

По всьому світу люди з інвалідністю демонструють більш низькі результати щодо здоров'я, більш низькі досягнення в галузі освіти, меншу економічну активність та більш високі показники бідності. Зазвичай, це пов'язано з тим, що інваліди стикаються з бар'єрами, які перешкоджають їх доступу до послуг, котрі для багатьох з нас є звичними, такими як охорона здоров'я, освіта, трудова зайнятість, транспортні та інформаційні послуги тощо.

За даними Євростату кожен восьмий житель Євросоюзу — це людина з обмеженими фізичними можливостями. Всього в 28 країнах ЄС живе близько 42,2 мільйона людей з інвалідністю, тобто 12,8% населення (рис. 1).

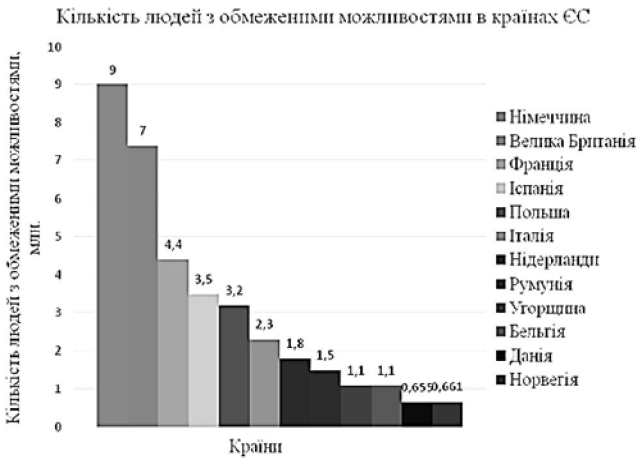


Рис. 1. Діаграма кількості людей з обмеженими можливостями в країнах Європи

У Німеччині, наприклад, проживає більше 9 мільйонів осіб з інвалідністю, тобто 16,9% від загального числа всіх жителів. Кожен шостий житель Великої Британії (17,8%) визнаний інвалідом. Всього тут живе 7,4 мільйона людей з обмеженими можливостями. У Франції інвалідність є у 4,4 мільйона осіб. Це кожен дев'ятий житель країни (11,1%). В Іспанії, за оцінками Євростату, проживає 3,5 мільйона людей з інвалідністю. Як і у Франції, це кожен дев'ятий (11,3%). У Польщі визнані інвалідами 3,2 мільйона чоловік — це 11,7% від загального числа жителів. В Італії проживає 2,3 мільйона людей з інвалідністю. Однак серед інших італійців вони не виділяються — інвалідами визнано лише 6% жителів. У Нідерландах проживає 1,8 мільйона інвалідів. У процентному співвідношенні це близько 16% населення, що можна порівняти з Німеччиною та Великою Британією. У Румунії близько 1,5 мільйона людей з інвалідністю — це кожен десятий житель країни (10,3%). В Угорщині проживає 1,1 мільйона інвалідів. Це 17% жителів, що ставить Угорщину в один ряд з країнами, в яких мешкає найбільше людей з інвалідністю. У Бельгії також живе близько 1,1 мільйона людей, чиї фізичні можливості обмежені. Це 15,2% жителів.

Серед країн ЄС найвищий відсоток інвалідів в Данії — фізичні можливості обмежені у 18,2% жителів (655 тисяч осіб). Королівство Норвегія лідирує за кількістю інвалідів серед європейських країн. Інвалідність є у кожного п'ятого жителя (20,1%) — це 661 тисяча осіб.

В Україні — понад 2,6 млн. людей мають статус інваліда. Це становить 6,1% від загальної чисельності населення. На жаль, кількість інвалідів у нашій країні щороку зростає. Майже 80% інвалідів в Україні — це люди працездатного віку (рис. 2).

На 1 січня 2016 питома вага осіб, що мають I групу інвалідності, склала 10,7% (250,3 тис. осіб), II групу — 37,8% (919,0 тис. осіб), III групу — 45,5% (1 291,2 тис. осіб) (рис. 3).

Рис. 2. Діаграма кількості людей з обмеженими можливостями в Україні у 2001-2016 роках

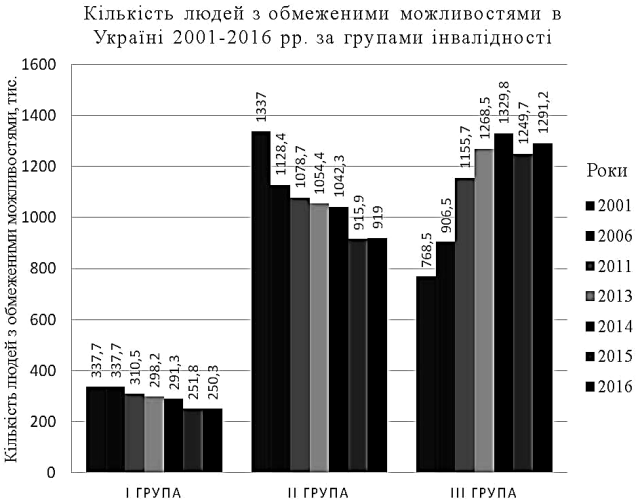


Рис. 3. Діаграма кількості людей із різними групами інвалідності в Україні у 2001-2016 роках

Найпоширенішими хворобами, які призводять до інвалідності, є хвороби системи кровообігу (24,4%), злоякісні новоутворення (20%), хвороби кістково-м'язової системи (11,1%), хвороби очей (3,7%), ендокринні хвороби, розлади харчування та порушення обміну речовин (4,2%).

За неофіційними підрахунками 15% населення України мають певну ступінь інвалідності. Крім цього, згідно з оцінками експертів ВООЗ, зараз у світі в однієї з десяти осіб є одне або кілька функціональних порушень, що, зазвичай, стають причиною інвалідності. 35% осіб у віці 60 років мають стійкі функціональні порушення, що перешкоджають їм здійснювати звичайні соціальні функції. У віці 70 років цей показник зростає до 50%, а в 80 років порушення мають 100% осіб.

Постановка задачі

Основні ознаки доступності для інвалідів можливості ведення незалежного життя. Отже, щодо визначення якості життя людей з обмеженими можливостями у теперішній час застосовують поширений та усталений термін *доступність*, який визначає надання можливості людям з інвалідністю вести незалежний спосіб життя.

Визначено дев'ять ознак, які впливають на повну та універсальну доступність соціальної інфраструктури для усіх категорій громадян:

1. Безпроблемне пересування по прилеглій території (містобудівні вимоги) .
2. Наявність визначених місць для паркування автомобілів людей з інвалідністю якнайближче до входу у будинок (містобудівні вимоги) .
3. Входи/виходи, двері (об’ємно-планувальні вимоги).
4. Доступний та безпечний заїзд (візком) у приміщення, сходи/пандуси (об’ємно-планувальні вимоги) .
5. Відсутність порогів, широкі двері, широкі коридори (об’ємно-планувальні вимоги) .
6. Доступність до усіх поверхів у приміщенні (ліфти, ескалатори, пандуси тощо).
7. Наявність доступних і пристосованих для неповносправних санітарно-гігієнічних приміщень: туалету, душової тощо (об’ємно-планувальні вимоги).
8. Доступні для людей у візках таксофони, банкомати, різноманітні торгові автомати.
9. Означення місцезнаходження (піктограми, озвучування інформації).

Повноцінно жити, користуватися благами цивілізації, отримувати послуги, а відтак — мати доступність до соціальної та громадської інфраструктури. І це важливе питання не лише для осіб з інвалідністю. Дослідження доводять, що насправді відсоток людей, які вимагають доступної інфраструктури та послуг, перевищує 20% населення в кожній країні світу.

Доступність (архітектурна, транспортна, інформаційна) важлива для того, щоб особи з інвалідністю мали можливість користуватись своїми правами та брати активну участь у житті суспільства. В багатьох розвинених країнах світу будь-яке фізичне обмеження в доступі до інфраструктури вважається формою дискримінації.

В забезпеченні доступності фізичного оточення, транспорту, інформації, спілкування, європейські країни дотримуються принципів «Універсального дизайну», який передбачає, щоб будинки, громадські місця, транспорт були пристосовані для користування ними якомога більшої кількості людей. Більш того, доступна розбудована інфраструктура є економічно привабливою. Функціонально вона більш гнучка й життєздатна, оскільки існує менше потреб для коштовної адаптації на пізніших стадіях розвитку. Особи з інвалідністю є цінними споживачами, і належний доступ має розглядатись не тільки як моральне питання, але і як перевага для розвитку та процвітання бізнесу.

Огляд проектів підтримки людей з обмеженими можливостями в Україні.

1. Проект «Доступна Україна» має за основну складову моніторинг архітектурної доступності інфраструктури 25 обласних центрів на предмет їх пристосованості для людей з обмеженими фізичними можливостями та інших маломобільних груп населення (МГН).

Основні цілі моніторингу:

- визначення архітектурної доступності об'єктів державної інфраструктури соціальної значущості (адміністрації, управління, фонди, центри, вокзали, лікарні, школи тощо);
- визначення архітектурної доступності комерційної інфраструктури (магазини, банки, аптеки, оптики, медичні кабінети, сфера послуг тощо);
- визначення доступності місць культури й відпочинку (парки, пляжі, музеї, театри, зони відпочинку й розваг тощо);
- аналіз реалізації державної та регіональних політик у сфері створення безбар'єрного середовища;
- підготовка альтернативного звіту про реалізацію статті 9 (“Доступність”) Конвенції ООН із прав інвалідів у 25 обласних центрах України;
- підготовка пакету пропозицій керівництву країни, спрямованих на адаптацію законодавчої бази України до стандартів ЄС у сфері захисту права на вільний доступ та переміщення;
- наповнення “Електронної карти архітектурної доступності України” для надання повноцінної інформації про безбар'єрне середовище людям з обмеженими фізичними можливостями із занесенням результатів аудиту кожного дослідженого об'єкта.

На даний момент моніторинг проведено в 17 обласних центрах України та задіяно більше 7500 об'єктів громадських і державних установ. За попередніми підсумками загальні статистичні показники «доступності» по Україні відповідають таким даним: 26% — доступно; 17% — частково доступно; 57% — не доступно. На теперішній час найбільш недоступним в Україні містом для людей з інвалідністю (згідно оцінки за методикою «Мінімального соціального стандарту, необхідного для ведення самостійного способу життя») є місто Чорноморськ в Одеській області (14%).

2. Проект «#THISABILITY | Можливості для всіх» став метою комунікаційної кампанії «#ThisAbility: Бачити спершу Дитину, потім інвалідність», реалізованої за сприяння делегації ЄС в Україні, Дитячого фонду ООН (ЮНІСЕФ) та Національної Асамблеї інвалідів України (НАІУ). Завдан-

ня цієї кампанії — спонукати українців бути більш толерантними до дітей з інвалідністю, адже всі діти, незалежно від особливостей та навіть фізичних вад, мають рівні права бути невід'ємною частиною життя суспільства.

3. Спільна програма сприяння інтеграційній політиці та послугам для людей з інвалідністю в Україні має за мету сприяння застосуванню стандартів доступності та Універсального Дизайну як таких, що забезпечать залучення і участь людей з інвалідністю, допомогу у подоланні існуючих бар'єрів, які заважають доступу до послуг і об'єктів, призначених для широкої громадськості, або обмежують його.

При цьому Універсальний Дизайн — це комплекс принципів дизайну місць, речей, інформації, повідомлень та політики, який дозволяє скористатися ними найбільш широкому колу людей у найрізноманітніших ситуаціях та не передбачає створення окремих або спеціальних можливостей для такого користування. Речі, простір, послуги, взаємодія між людьми стають зручними, безпечними та доступними завдяки щонайменш семи основним принципам Універсального Дизайну:

принцип 1 — Рівність та доступність використання;

принцип 2 — Гнучкість використання;

принцип 3 — Простота й інтуїтивність використання;

принцип 4 — Доступність викладення інформації;

принцип 5 — Терпимість до помилок;

принцип 6 — Малі фізичні зусилля;

принцип 7 — Наявність необхідного розміру, місця, простору.

підтримка програмі надана Партнерством ООН з питань реалізації прав людей з інвалідністю, Програмою розвитку ООН та Дитячим фондом ООН (ЮНІСЕФ).

Взагалі, можна наводити масу прикладів проектів, щодо окресленої задачі, включаючи також online-карти, що дозволяють знаходити та відмічати місця, доступні для маломобільних людей (візочників, літніх людей, батьків з дитячими колясками тощо).

Яскравим прикладом щодо цього є online-карта Wheelmap.org, яку ще у 2010 році створено на основі даних OpenStreetMap (скорочено OSM — некомерційний web-картографічний проект по створенню силами спільноти учасників-користувачів Інтернету докладної вільної та безкоштовної географічної карти світу) за ініціативою німецького соціального підприємця Рауля Краутхаузена та некомерційної організації «Sozialhelden» (Соціальні Герої), що розробляє і координує соціальні проекти на тему інтеграції, інклюзії та безбар'єрного середовища.

Таким чином, маємо достатні обґрунтування того, що уся прогресивна світова спільнота суттєво переймається проблемою людей з обмеженими можливостями, у тому числі й на рівні задач створення геоінформаційних систем, що здатні забезпечити таких людей доступністю до комфортного проживання в соціумі.

Постановка задачі впровадження в місті Харкові Міжнародного проекту «Secondary Cities» із захисту соціально вразливих верств населення України. Зважаючи на проведений аналіз ситуації з інвалідністю в Україні та запроваджені у світі геоінформаційні заходи щодо покращення умов життя людей з обмеженими можливостями, кафедра Геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського (ХАІ) активно включилась у співробітництво із Міжнародним проектом «Secondary Cities» стосовно міста Харкова.

Взагалі, основна мета проекту «Secondary Cities» полягає у створенні місцевого потенціалу використання геопросторових технологій для підтримки готовності до надзвичайних ситуацій. Проект реалізується в різних країнах світу, зазвичай, у містах, що швидко розвиваються та при цьому не є столицями, проте мають важливе геополітичне значення. В Україні таким містом програмою «Secondary Cities» було обрано місто Харків.

Основні завдання та тематика проекту в Харкові пов'язані зі збором та подальшою ГІС-обробкою геоданих щодо безпеки та якості життя соціально вразливих груп населення в міському середовищі (інвалідів, дітей, людей похилого віку, а також тимчасово переселених громадян).

На усіх етапах реалізації харківської частини проекту «Secondary Cities» відбувалася суттєва підтримка Американської асоціації географів і Держдепартаменту США. Саме тому у проведених семінарах та майстер-класах вдалося задіяти як провідних викладачів, так і студентів різних харківських вишів.

Крім того, для полегшення та прискорення виконання поставлених завдань усім виконавцям проекту задіяні організації надали такі необхідні вихідні дані: комунальне підприємство «Міський інформаційний центр» — дані про місця проживання інвалідів у візках; товариство з обмеженою відповідальністю «Спаеро плюс» — векторні картографічні шари міста Харкова (межі міста, дороги, лінії метро, водні ресурси тощо), організатори проекту — доступ до особистого облікового запису в геоінформаційній системі ArcGIS Online, а також космічні знімки з актуальних ресурсів.

Таким чином, задачею викладачів та студентів кафедри Геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі НАУ ім. М. Є. Жуковського (ХАІ) в рамках Міжнародного проекту «Secondary Cities» було отримання даних про доступності інфраструктурного середовища міста Харкова, а також розробка методики побудови та безпосередньо створення на її основі картографічних моделей, що сприятимуть покращенню життя у соціумі людей з обмеженими можливостями.

Предметом дослідження є методика побудови тематичних картографічних моделей для аналізу і прийняття рішення стосовно інфраструктурної обстановки в населених пунктах щодо її доступності людям з обмеженими можливостями.

Об'єктом дослідження є процес створювання різноманітних типів тематичних картографічних

моделей, що містять специфічну інформацію щодо доступності певних територій для осіб з обмеженими фізичними можливостями.

Метою роботи є підвищення мобільності людей з обмеженими можливостями за рахунок інформаційної підтримки на основі актуальних картографічних моделей на прикладі міста Харкова.

Для досягнення поставленої мети та уявлення усіма учасниками проекту «Secondary Cities» у Харкові взаємозв'язку вихідних даних та кінцевих результатів, що необхідно отримати, розроблено структурну схему із зазначенням застосовуваного програмного забезпечення (рис. 4).

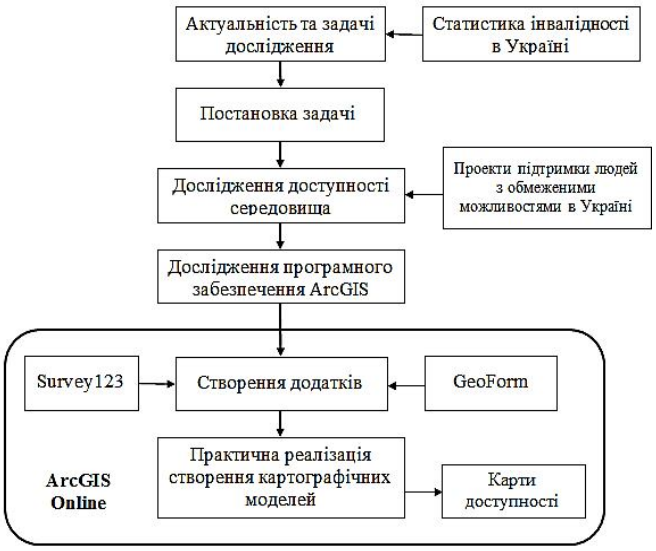


Рис. 4. Структурна схема реалізації проекту «Secondary Cities» у місті Харкові

Наведена структурна схема є універсальною і може бути застосована для реалізації проекту «Secondary Cities» у будь-якому інфраструктурному середовищі.

Результати досліджень

Аналіз програмного забезпечення для збору даних щодо безпеки та якості життя соціально вразливих груп населення. Широкий спектр різноманітного програмного забезпечення (Freeware, Shareware, Adware та інших типів розповсюдження), що пропонується в теперішній час для вирішення геоінформаційних задач, вимагає від користувача ретельного аналізу та відбору для ефективної та своєчасної реалізації ГІС-проекту, який представляє зацікавленість. Разом з тим, поряд із ліцензованими програмними ГІС-релізами, обваженими майже незліченними можливостями щодо оперативного створення актуальних картографічних проектів, а також суттєвими вимогами до апаратного забезпечення ПЕОМ, маємо достатньо функціональну (найчастіше безкоштовну) лінійку online ГІС-програм.

Отже, розглянемо деякі з них стосовно поставленої задачі досліджень.

Web-ГІС ArcGIS Online — Web-ГІС для спільної роботи, що дозволяє використовувати, створювати та настроювати доступ до карт, сцен, додатків, аналітики та даних. За допомогою ArcGIS Online можна створювати і використовувати готові карти і сцени, отримувати доступ до готових карт, шарів та аналітики Living Atlas of the World, публікувати дані як web-шари, поширювати та отримувати доступ до карт з будь-якого пристрою, створювати карти за власними бізнес-даними, налаштовувати web-сайт ArcGIS Online та переглядати звіти.

Функціональні можливості *AcrGIS Online*

1. *Вивчення та аналіз даних.* ArcGIS Online містить інтерактивні карти і сцени, що дозволяють всім зареєстрованим користувачам переглядати, вивчати і аналізувати географічні дані. Користуючись Living Atlas of the World (динамічної колекцією карт, сцен, шарів даних та зображень), аналітикою і додатками спільноти ArcGIS, можна наповнити ці застосунки своїми даними для виявлення закономірностей, отримання відповідей на питання і розуміння взаємовідносин між певною організацією та іншими користувачами з усього світу. Також можливе використання інструментів аналізу, що входять у переглядач карт ArcGIS.com для пошуку нових закономірностей, відповідних місцезнаходжень, збагачення власних даних, визначення найближчих об'єктів та аналітичне підсумовування даних.

2. *Створення карт, сцен і додатків.* ArcGIS Online містить все необхідне для створення карт, сцен і додатків. З допомогою переглядачів карти і сцени можна виконувати підключення до галереї базових карт та інструментів, щоб додавати нові шари і комбінувати дані, які потім можуть бути надані для відкритого загального доступу. Також можлива робота зі зручними інструментами створення додатків, які можна публікувати в ArcGIS Online.

3. *Спільна робота й обмін даними.* Зміцнення співробітництва у будь-якій організації проводиться за допомогою надання загального доступу до ресурсів по областях діяльності. Можна створити закриті групи, доступні тільки за запрошенням, або загальнодоступні групи, відкриті для всіх. Також можна надавати доступ до карт з допомогою вбудовування їх на web-сторінки, блоги, web-додатки або через соціальні мережі. ArcGIS Online містить безліч параметрів додатків і конструкторів для створення додатків. Всього за кілька кроків, без використання програмування, можливе опублікування web-додатку, доступного для всіх за допомогою звичайного web-браузера.

4. *Публікація даних у вигляді web-шарів.* Публікування даних у вигляді web-шарів в ArcGIS Online дозволяє вивільнити внутрішні ресурси, оскільки такі web-прошарки розміщуються у хмарі ("cloud") компанії ESRI та динамічно масштабуються за запитом. Є можливість додавати web-шари у настільні та мобільні додатки, що дозволить багатьом іншим користувачам ArcGIS Online працювати з ними. Публікування даних можливе безпосередньо з ArcGIS Desktop або з web-сайту ArcGIS Online без інсталяції власного сервера, що відкриває доступ до цих даних для інших учасників певної організації і надає змогу додавати шари карт та інструменти геообробки у власні карти та додатки.

5. *Адміністрування організації.* ArcGIS Online містить інструменти і налаштування, що дозволяють адміністратору певної організації не тільки налаштовувати головну сторінку, але й також керувати всією організацією в цілому. Це сервіс включає також налаштовування web-сайту, запрошення і додавання користувачів та визначення їх ролей, управління ресурсами та групами, а також налаштування політики безпеки.

Функціональні можливості додатків для заповнення форм Survey123 for ArcGIS та GeoForm

ESRI пропонує безліч додатків, які можна використовувати для збору даних в поле. Всі вони пропонують форми для заповнення і все можуть підключатися до ArcGIS. У табл. 1 наведено функціональні можливості додатків Survey123 for ArcGIS та GeoForm.

Таблиця 1 – **Функціональні можливості додатків Survey123 for ArcGIS та GeoForm**

Функціональність	Survey123	GeoForm
Стиль збору даних	На основі форм	На основі форм
Підтримка захоплення нових даних	Так	Так
Розумні форми	Так (XLSForm)	Ні
Автономна робота	Так	Ні
Підтримка анонімного доступу	Так	Так
Платформи	iOS, Android, Windows, Windows Phone, Mac, Linux, Інтернет	Web
Технічна підтримка	ESRI та спільнота	ESRI та спільнота

Survey123 та GeoForm є додатками для збору даних на основі форм. Основою є список питань, тобто форма. За допомогою Survey123 та GeoForm можна захоплювати географічні дані (точкові), Отже, вони називаються додатками на основі форм.

Survey123 використовує специфікацію xForms для обробки форм. GeoForm дозволяє редагувати атрибути, але правила, що застосовуються в формах, дуже прості (списки для вибору і базові типи питань). Пропуск питань, застосування виразів для попереднього обчислення і перевірки відповідей, подання форми на декількох мовах, захоплення підписів та інше є унікальними особливостями форм в Survey123.

Survey123 та GeoForm використовують ідентифікацію ArcGIS (обліковий запис певної організації) для безпечного доступу до даних і забезпечують спеціально розроблену середу. Використання облікових записів організації також допомагає забезпечити контроль якості, дозволяючи дізнатися, хто саме вносив дані і коли. Крім того, GeoForm та Survey123 також мають можливість анонімного доступу. Це означає, що вводити дані можуть люди, які не мають облікових записів ArcGIS. Це особливо зручно для сценаріїв із краудсорсингом (англ. crowdsourcing, від crowd — натовп та sourcing — використання ресурсів), тобто із залученням до рішення тих чи інших проблем інноваційної виробничої діяльності широкого кола осіб для використання їх творчих здібностей, знань та досвіду за типом субпідрядної роботи на добровільних засадах із застосуванням інфокомунікаційних технологій.

Додаток Survey123 for ArcGIS. Survey123 for ArcGIS — достатньо простий додаток для збору даних, що базується на формах, а також дозволяє створювати і аналізувати опитування. Нижче представлено приклад створення опитування.

Для початку необхідно виконати вхід на web-сайт Survey123. На web-сайті Survey123 можна створювати опитування і керувати ними, переглядати зібрані для них дані, аналізувати та друкувати їх результати, а також експортувати зібрані дані опитування в інші клієнтські програми ArcGIS.

Після входу на веб-сайт Survey123 відобразиться галерея опитувань. Необхідно вибрати опцію "Створити нове опитування" (рис. 5).

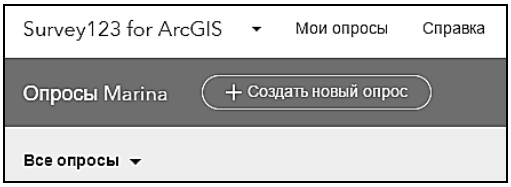


Рис. 5. Створення нового опитування в Survey123 for ArcGIS

Далі має відкритися вікно "Створення нового опитування". У розділі "Використовуючи web-дизайнер" слід вибрати опцію "Початок роботи". Метою опитування є збір інформації про місце та атрибути об'єктів соціальної інфраструктури, що мають значення для незахищених груп населення, включаючи медичні, дитячі заклади, центри комунальних послуг і нерухомості, центри зайнятості.

У вікні Створити нове опитування необхідно заповнити такі опції: назва, теги, загальна інформація (рис. 6).

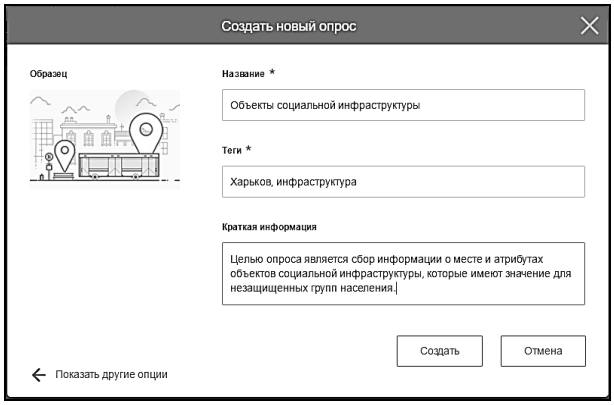


Рис. 6. Заповнення опцій для створення опитування

Створення звіту може зайняти деякий час. Протягом цього процесу в ArcGIS Online створюються нова форма і пов'язаний з нею векторний шар. Коли опитування буде готове, з'явиться сторінка дизайну опитування, яка не містить в даний момент питань (рис. 7).

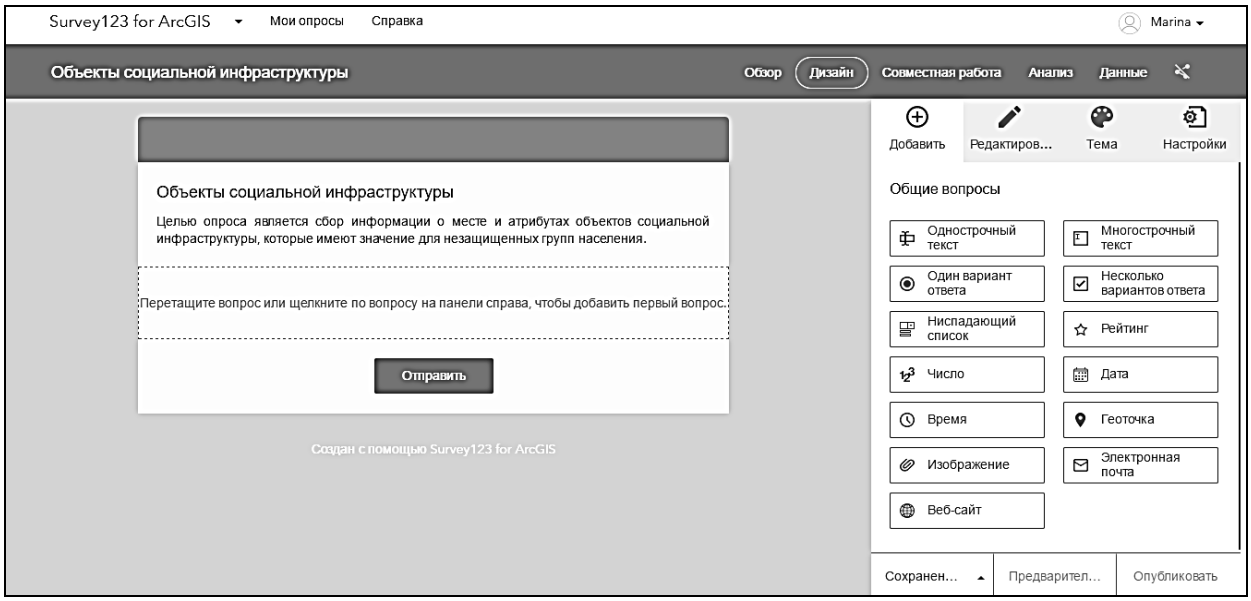


Рис. 7. Інтерфейс сторінки опитування

У верхній частині сторінки є посилання "Мої опитування" та "Довідка". Посилання "Мої опитування" відкриває галерею опитувань, що надає доступ до усіх потрібних опитувань. У Довідці можна відкрити сторінку документації Survey123 for ArcGIS. На розташованій під посиланнями зеленій панелі відображується назва активного опитування із призначеними для роботи з опитуванням вкладками: "Огляд", "Оформлення", "Співпраця", "Аналіз і Дані".

Більша її частина вкладки "Оформлення" розділена на дві області. У лівій частині сторінки оформлення розміщено попередній перегляд компонування опитування. Розташовані праворуч чотири вкладки містять опції створення і налаштування поточного опитування:

"Додати" — слід вибрати тип питання, що необхідно додати до опитування;

"Редагувати" — можна відредагувати зміст та властивості питання опитування;

"Тема" — можна задати оформлення поточного опитування;

"Налаштування" — необхідно налаштувати повідомлення про подяки після відправки опитування.

Власне опитування складається з таких елементів: тип соціальної інфраструктури, назва й адреса установи, ступінь доступності даного місця. Після роботи в "Редакторі" та створення усіх необхідних запитань для опиту необхідно "Зберегти" результати. Також можливо включити "Перегляд" для перевірки коректності всіх питань.

Далі необхідно опублікувати створену форму та почати збір даних опитування. Відкриється вікно "Опублікувати" опитування з повідомленням про те, що після публікації не можна відредагувати голосування. Після перегляду та перевірки оформлення опитування можна його публікувати. По закінченні публікації звіту буде отримано повідомлення "Успішно опубліковано".

Додаткове повідомлення розповість про те, що можна запустити URL-опитування і надати його кінцевим користувачами для збору даних. На рис. 8 представлено інтерфейс створеного ГІС-додатку для опитування за допомогою телефону.

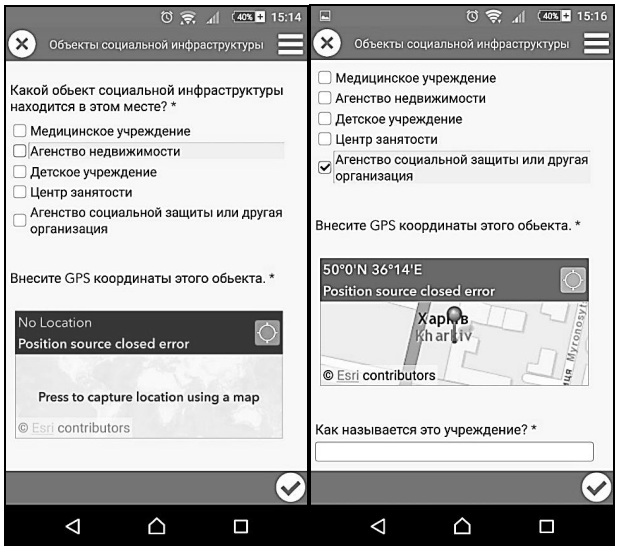


Рис. 8. ГІС-додаток для опитування за допомогою телефону

Додаток GeoForm. GeoForm — це шаблон додатка, який налаштовується для редагування даних на основі форми у сервісі об'єктів. Ця програма дозволяє користувачам вводити дані за допомогою форми замість спливаючих вікон карти, при цьому поліпшується ефективність web-карти і редагованих "Сервісів" об'єктів. Ця програма дозволяє використання геоданих і робочих процесів шляхом знижен-

ня вхідного бар'єру для виконання простих завдань. Для створення додатку для опитування в GeoForm необхідно виконати такі кроки:

1) створити новий шар;
2) створити web-карту;
3) налаштувати web-додаток GeoForm.

Алгоритм створення опитування в GeoForm передбачає такі кроки.

1. Для початку роботи потрібно зайти в обліковий запис "AcrGIS Online". Далі в меню "Шари" слід обрати "Створити новий шар" і заповнити такі поля: "Назва", "Теги", "Опис" (рис. 9).

Рис. 9. Створення нового шару в ArcGIS Online

Разом з тим необхідно додати назви полів і типи даних (String, Integer, Float or Date). Ці поля будуть збирати відповіді на власному опитувальнику GeoForm.

Не обов'язково використовувати всі поля, адже додати нові поля можна пізніше — для тих даних, які будуть зібрані через інші програми і дії.

Обов'язкові для заповнення поля під власними питаннями зроблять відповідь на питання обов'язковим, респонденти не зможуть залишити їх порожніми, коли вони будуть ділитися своєю інформацією.

2. На сторінці "Подробиці" власного нового шару слід вибрати "Відкрити в ArcGIS Online", потім "Відкрити в перегляді карти". Можна змінити стиль (показати окремий атрибут або просто показати місцезнаходження), карту-підкладку (рис. 10), видиму ділянку в залежності від власного вибору місця або масштабу. Далі необхідно зберегти карту і за бажанням "Поділіться" картою.

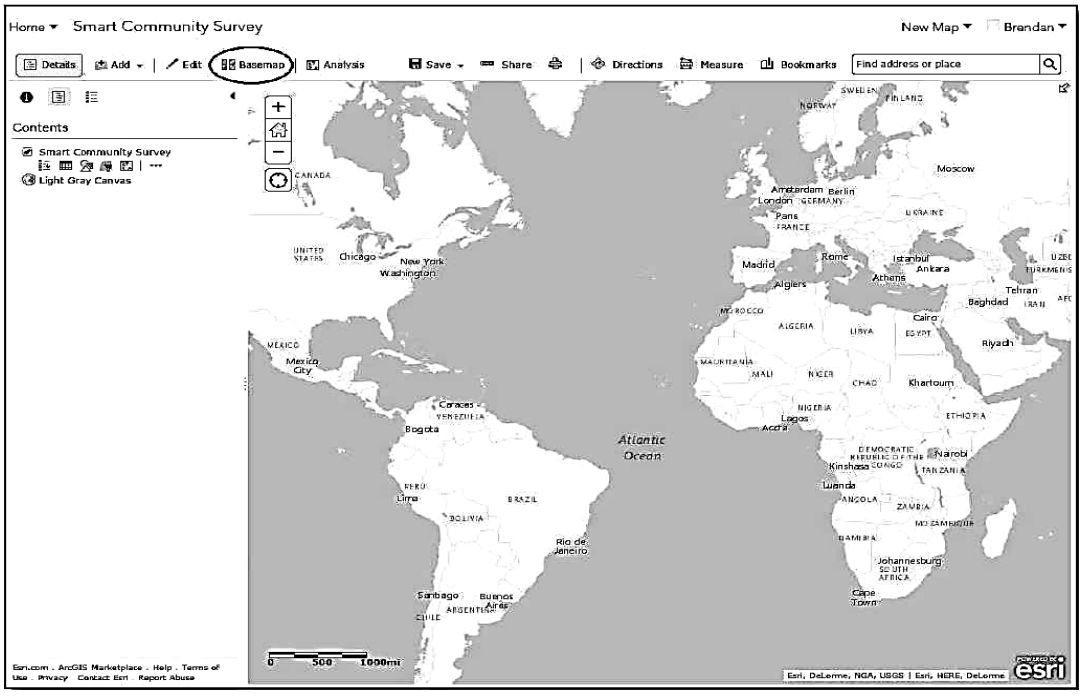


Рис. 10. Вибір підкладки для створеної web-карти в ArcGIS Online

3. Після оновлення налаштувань web-карти необхідно вибрати "Створити web-додаток". Щоб знайти конструктор опитувальника GeoForm, слід вибрати меню "Зібрати / Редагувати" та "Створити web-додаток" (рис. 11). Для подальшої роботи слід виконати дії в конструкторі GeoForm, вибираючи шар і web-карту, що створені раніше, як основу для GeoForm.

Можна попередньо подивитися власний опитувальник в будь-який час. Також можна повернутися в конструктор GeoForm і зробити зміни навіть після збереження та публікації усіх матеріалів.

Рис. 11. Створення нового web-додатку в ArcGIS Online

Практична реалізація методики побудови картографічних моделей міста Харкова для людей з обмеженими можливостями. Структурну схему методики побудови картографічних моделей для людей з обмеженими можливостями, відпрацьовану на прикладі міста Харкова, наведено на рис. 12.

Рис. 12. Структурна схема методики створення картографічних моделей для людей з обмеженими можливостями

Стосовно вибору базової карти в ArcGIS Online треба зауважити, що галерея базових карт містить карти, які можна використовувати в якості підкладки для даних власної карти. При створенні нової карти можна вибрати відповідну базову карту, чи замінити базову карту для поточної карти в будь-який час шляхом використання галереї базових карт або використання власного шару в якості базової карти. Також можна створити багатошарову базову карту з панелі "Зміст у переглядача карт".

Вибір базової карти в ArcGIS Online. У галереї базових карт розміщено різноманітні карти, включаючи топографічні, комплексні на основі супутникових знімків та карти вулиць. Для вибору базової карти з галереї необхідно: увійти в "Організацію" для збереження результатів роботи. Далі слід відкрити переглядач карт і натиснути опційну кнопку "Базова карта" (рис. 13).

Можна вибрати ескізне зображення базової карти, що бажано використовувати для власної карти, а також переглянути інформацію про базову карту перед додаванням її у власну карту. Після вибору підкладки необхідно натиснути опційну кнопку "Зберегти", щоб зберегти у власній карті нову базову карту.

Зміна стилю карти в ArcGIS Online. Тематичні карти є когнітивно ефективними, оскільки дозволяють за допомогою спеціалізованих засобів доступно візуалізовувати та періодично актуалізовувати нагальні дані.

Рис. 13. Доступні базові карти в ArcGIS Online

Наприклад, дані по населенню країн можна візуалізувати послідовністю кольорів, від світлого до темного, або колами пропорційного розміру, від маленького до великого. Ця гнучкість дозволяє документувати історії розвитку різних процесів та явищ, а також відкривати приховані закономірності в залежності від способу представлення даних.

Багатофункціональний програмний інструмент "Переглядач карт" дозволяє вибрати різні стилі, використовуючи налаштування за замовчуванням. При використанні опції "Змінити стиль" особливості самих даних визначають той стиль, який буде запропонований за умовчанням. Переглядач карт дає можливість управління графічними елементами, такими як колірна шкала, товщина ліній, прозорість та символи. Функція "Змінити стиль" доступна для різноманітних типів шарів.

Опції настройки стилю для шару залежать від типу даних, які потрібно відобразити. Тому будуть запропоновані різні варіанти в залежності від того, чи є шар точковим, лінійним або полігональним. Наприклад, опція карти інтенсивності буде доступна тільки для точкових шарів. На опції також впливає тип даних, пов'язаних з об'єктами шару. Наприклад, у точкового об'єкта може бути тільки інформація про місцезнаходження (координати), а також категорійна інформація (вид дерева) або числові дані (температура повітря). Опції стилю також відрізняються, залежно від того, чи бажано відображати один або два атрибути одночасно, наприклад дохід та чисельність населення.

Не кожен стиль може використовуватися з будь-яким типом даних. З огляду на ці факти та інші характеристики даних, переглядач карт може запропонувати вибір найкращих стилів.

Змінити стиль шару можна за допомогою панелі "Змінити стиль". Для зміни стилю векторного шару необхідно: увійти в акаунт "ArcGIS Online", відкрити карту у переглядачі карт, вибрати опцію "Деталі → Ресурси". Далі слід обрати векторний шар, що містить стиль, який бажано змінити та обрати опцію "Змінити стиль".

Стиль Розташування та стиль Категорій в ArcGIS Online. Переглядач карт дозволяє вивчити дані різними способами за допомогою різних стилів розумного картографування. При використанні опції "Змінити стиль" у переглядача карт особливості самих даних визначають той стиль, який буде запропонований за умовчанням. Після того, як визначено, яким чином буде візуалізовуватись шар — колами або кольорами для позначення чисельності, наприклад, населення — можна ввести зміни в його умовні позначення, що негайно відобразиться на карті.

Стиль "Місцезнаходження" (єдиний символ) використовують для того щоб оцінити, де розташовані об'єкти та їх географічний розподіл. Стиль "Карта інтенсивності" використовують для візуалізації точкових об'єктів, а також для того, щоб побачити, де розташовуються та як розподіляються об'єкти зацікавленості. Для оцінки того, як дані розподіляються за категоріями використовують стиль "Типи" (унікальні символи).

Стиль Місцезнаходження (єдиний символ) в ArcGIS Online. Відображення даних з використанням єдиного символу дає уявлення про розподіл об'єктів —чи є воно кластерним або розсіяним — і може допомогти виявити приховані закономірності. Для відображення даних за допомогою єдиного символу необхідно: увійти в акаунт "ArcGIS Online", відкрити карту у переглядачі карт, вибрати опцію "Деталі → Ресурси". Далі слід обрати векторний шар, що містить стиль, який бажано змінити, та натиснути "Змінити стиль".

Після цього треба обрати стиль "Місцезнаходження" (єдиний символ) (рис. 14) і натиснути опційну кнопку "Опції". Для зміни символу слід обирати опцію "Символи" та змінювати настройки.

При відображенні на карті точкових символів, що мають числову інформацію, наприклад, напрямок вітру, можна задати кут повороту в залежності від числового атрибута.

Щоб переглядач карт обчислив і задав оптимальний діапазон видимості, слід вибрати "Рекомендований" поруч з бігунком "Відомий діапазон". Можна також задати діапазон видимості вручну за допомогою бігунка. Щоб змінити прозорість для всього шару, можна перемістити бігунок "Прозорість" вліво (прозорість зменшується) або вправо (прозорість збільшується). Використовуючи стиль "Місцезнаходження" (єдиний символ) із використанням запропонованої методики було створено карту місця проживання інвалідів на візку (рис. 15).

Стиль Карта інтенсивності в ArcGIS Online. Карти інтенсивності можна використовувати при картографуванні розташування точкових об'єктів. Вони зручні, якщо є дуже багато точок, які необхідно розмістити на карті, або багато точок знаходяться дуже близько один від одного, що ускладнює їх розрізнення. Вони добре підходять для відображення шарів з великою кількістю точкових об'єктів.

Рис. 14. Відображення даних за допомогою стилю "Місцезнаходження (єдиний символ)"

Рис. 15. Карта, створена із використанням стилю "Місцезнаходження" (єдиний символ)

Карти інтенсивності використовують точки шару для обчислення і відображення відносної щільності точок на карті у вигляді плавного мінливого набору кольорів, від холодного (низька щільність) до теплого (висока щільність).

Для відображення точкових даних у вигляді карти інтенсивності необхідно: увійти в акаунт "ArcGIS Online", відкрити карту у переглядачі карт, вибрати опцію "Деталі → Ресурси". Далі слід обрати векторний шар, що містить стиль, який бажано змінити, та натиснути "Змінити стиль". Для відображення необхідно вибрати атрибут та стиль "Карта інтенсивності" (рис. 16).

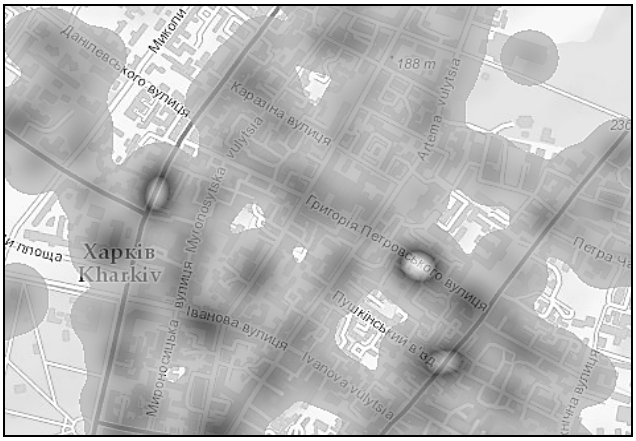


Рис. 16. Відображення даних за допомогою стилю "Карта інтенсивності"

В опції «Карти інтенсивності» доступні такі дії: зміна списку застосування кольорів до поверхні щільності за допомогою зміни положення двох маркерів на бігунку колірної шкали; зміна розміру та інтенсивності кластера за допомогою бігунка "Область впливу"; зміна колірної шкали, за допомогою опції "Символи та зміни настройок". До того ж є можливість обчислити і задати оптимальний діапазон видимості, за допомогою опції "Рекомендований" поруч з бігунком "Видимий діапазон". Також можна задати діапазон видимості вручну за допомогою бігунка "Зміна прозорості" —вліво (менше прозорий) або вправо (прозоріший). Після цього треба натиснути опційну кнопку "Зберегти" (по закінченні налаштовування стилю) або кнопку "Скасувати", щоб повернутися на панель "Змінити стиль" без збереження змін.

Із використанням стилю "Карта інтенсивності" створено карти по доступності міського середовища та міських громадських закладів (рис. 17 – 20).

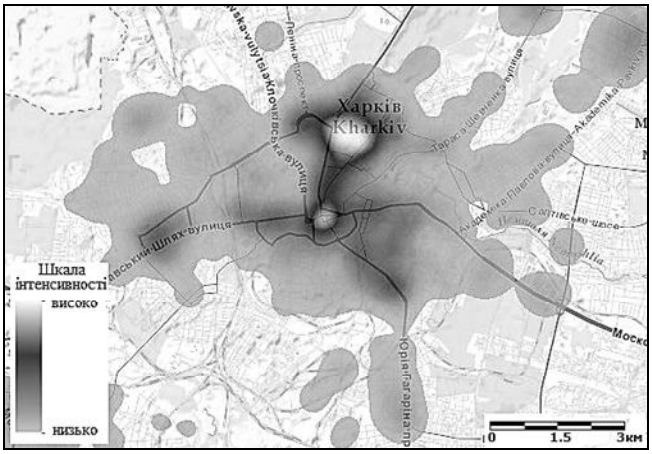


Рис. 17. Карта інтенсивності доступних для інвалідів громадських місць у місті Харкові

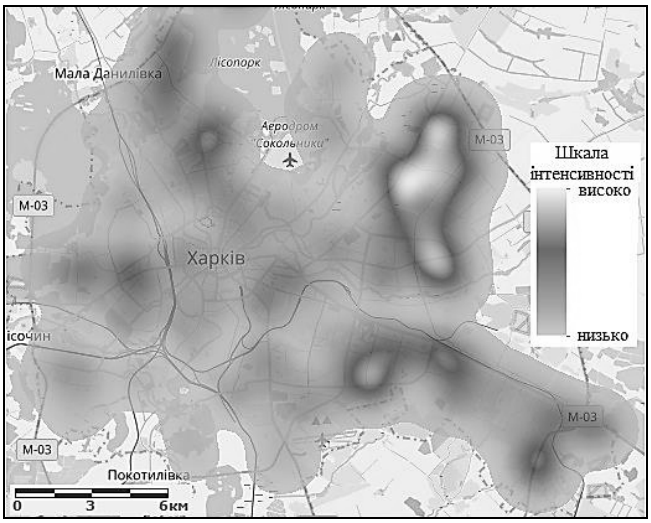


Рис. 18. Карта інтенсивності місць проживання інвалідів у візку у місті Харкові

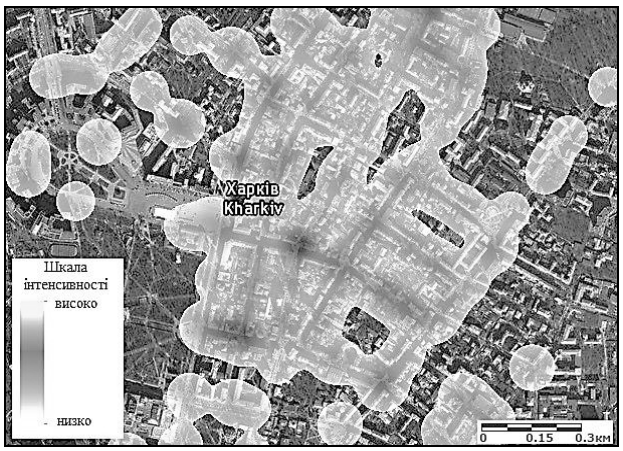


Рис. 19. Карта інтенсивності доступних для інвалідів пішохідних переходів у місті Харкові

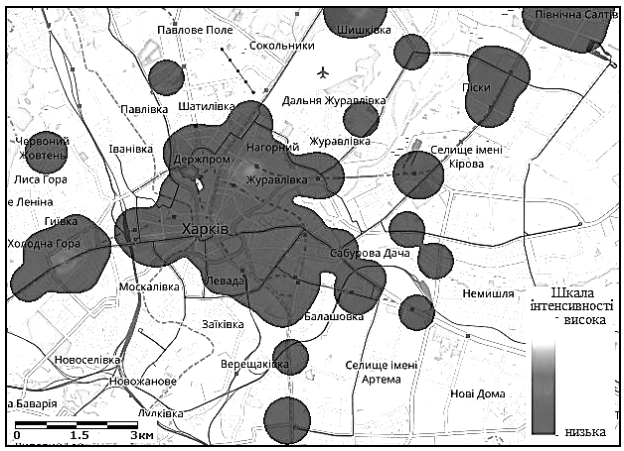


Рис. 20. Карта інтенсивності доступних для інвалідів аптек у місті Харкові

Стиль "Типи" (унікальні символи) в ArcGIS Online. Унікальні символи використовують, щоб показати різні якості об'єктів (категорійні дані), а не числові вимірювання. Наприклад, можна використовувати різні кольори для демонстрації маршрутів різних типів міського громадського транспорту. Унікальних значень не може бути більше 200, хоча використовується тільки 10 кольорів, тому один колір може означати кілька категорій. Це означає, що унікальні символи найкраще працюють з 2-10 категоріями, наприклад, типами ресторанів, видами дерев або політичними партіями.

Для відображення даних по типу за допомогою єдиних символів необхідно: увійти в акаунт "ArcGIS Online", відкрити карту у переглядачі карт, вибрати опцію "Деталі → Ресурси".

Далі слід обрати векторний шар, що містить стиль, який бажано змінити, та натиснути опційну кнопку "Змінити стиль". Для відображення необхідно вибрати атрибут та стиль "Типи" (унікальні символи)" (рис. 21).

Із використанням стилю "Типи (унікальні символи)" створено карти по доступності для інвалідів середовища і громадських закладів (рис. 22 – 24).

Рис. 21. Відображення даних за допомогою стилю "Типи (унікальні символи)"

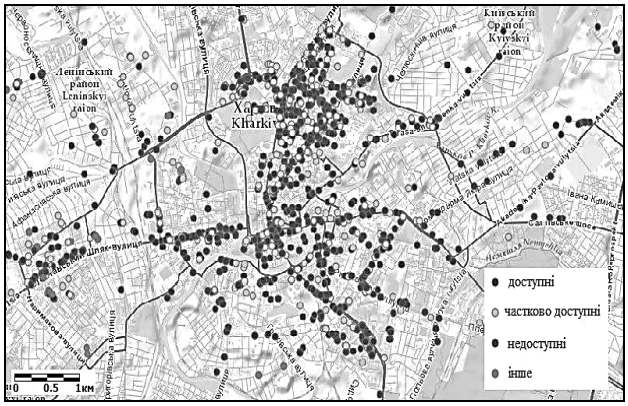


Рис. 22. Карта доступності для інвалідів громадських місць у місті Харкові

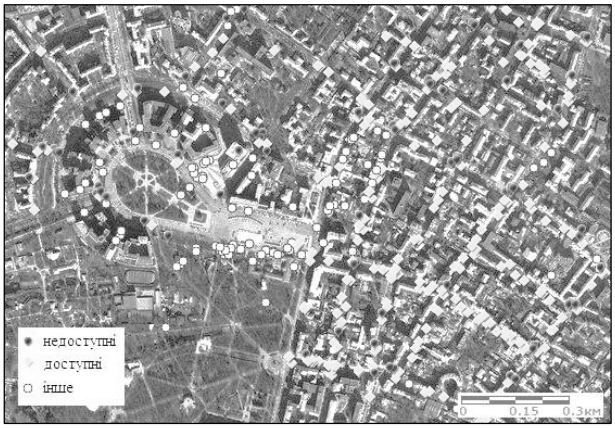


Рис. 23. Карта доступності для інвалідів пішохідних переходів у місті Харкові

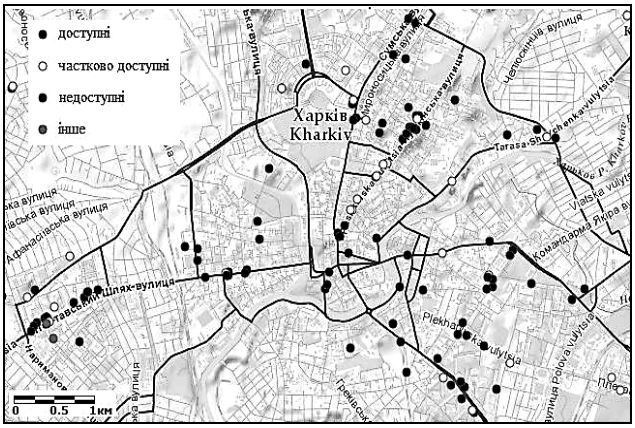


Рис. 24. Карта доступності для інвалідів аптек у місті Харкові

Застосування фільтрів в ArcGIS Online. Фільтри ArcGIS Online надають сфокусований вигляд векторному шарові на карті. За допомогою обмеження видимості об'єктів шару можна виділити те, що є найбільш важливим. При створюванні карти можливе налаштування інтерактивних фільтрів, які дозволять зацікавленій аудиторії вивчати дані самостійно, при цьому застосовуючи до об'єктів спостереження власні фільтри завдяки передбаченим підказкам та порадам.

Якщо векторний шар карти містить фільтр, можна побачити фільтрований вид об'єктів, тобто на карті будуть відображені тільки ті об'єкти, що задовольняють заданим у фільтрі умовам.

Наприклад, автор карти може налаштувати фільтр для shape-шару шкіл, що містить дані про початкові, середні школи і училища, щоб візуалізувати на карті тільки початкові школи (наприклад, вказати Тип "Початкові"). В цьому випадку, середні школи і училища будуть відфільтровані (не відображені) при відображенні карти. Якщо автор карти встановив інтерактивний фільтр для шару шкіл, то користувач має змогу змінити значення, наприклад, на "Середні школи" — і в результаті бачити тільки середні школи в регіоні, що відображується на карті.

Для роботи з існуючими фільтрами ArcGIS Online необхідно: відкрити карту, що містить фільтрований шар, у переглядачі карти обрати опцію "Деталі" й натиснути опційну кнопку "Ресурси". Далі слід перейти до векторного шару з наявним фільтром і обрати опцію "Фільтр".

Після цього можливо змінити, редагувати або переглянути фільтр.

На вкладці "Змінити" можна застосувати нове значення для існуючого інтерактивного фільтра. Для цього необхідно ввести нове значення для вираження і обрати опцію "Застосувати фільтр". Відображення карти оновлюється новим фільтрованим видом векторного шару.

Вкладка також показує схожі версії виразів фільтра. Дана вкладка з'являється тоді, коли у фільтрі присутні інтерактивні вираження.

Якщо у фільтрі відсутні інтерактивні вираження, то користувач бачить вкладку "Переглянути замість версій виразів фільтра".

На вкладці "Редагувати" можна оновити вираження.

На рис. 25 представлена створена з використанням фільтрів карта доступних для інвалідів громадських закладів міста Харкова.

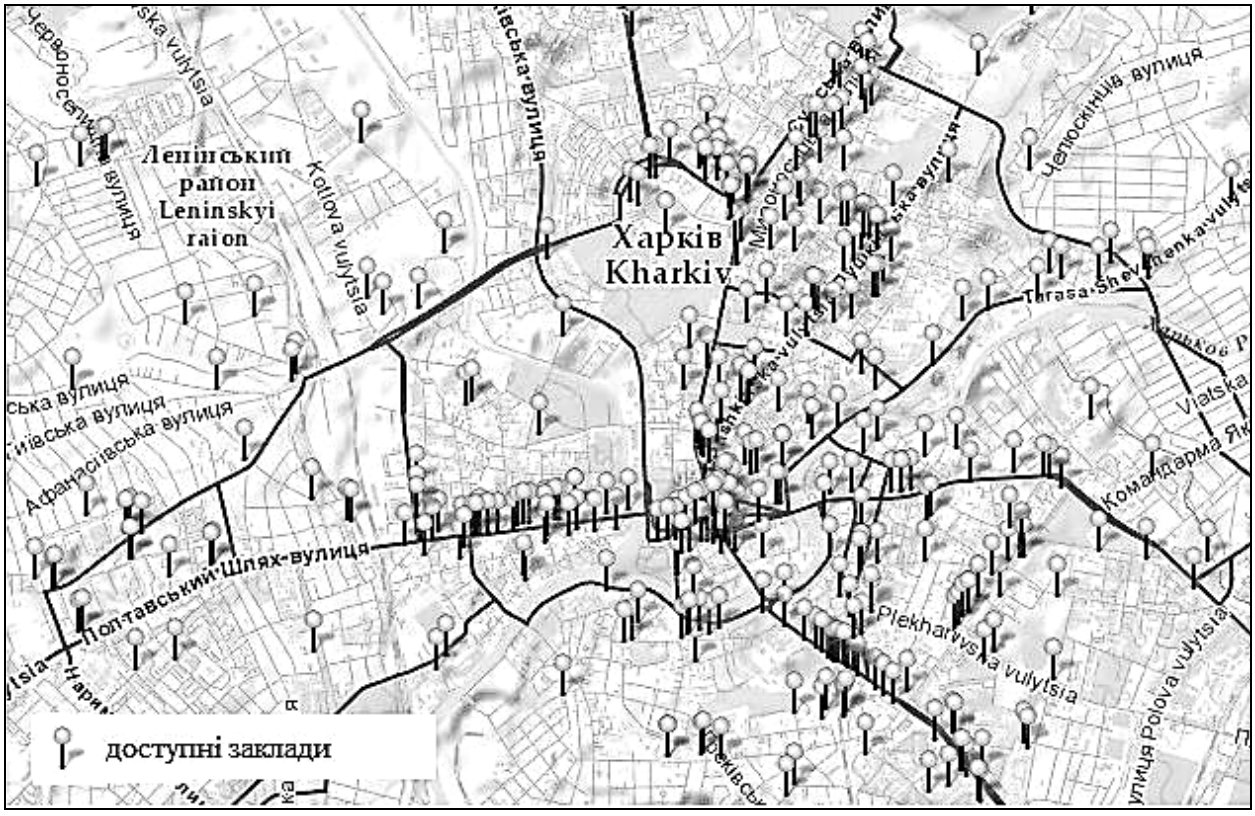


Рис. 25. Карта доступних для інвалідів громадських закладів міста Харкова, створена з використанням фільтрів ArcGIS Online

Висновки

Проаналізовано загальну ситуацію та статистичні дані за станом інвалідності громадян в Україні та країнах ЄС. Визначено, що в Україні — понад 2,6 млн. людей мають статус інваліда.

Це становить 6,1% від загальної чисельності населення і ці показники щорічно зростають. Майже 80% інвалідів в Україні — це люди працездатного віку.

На 1 січня 2016 питома вага осіб, що мають І групу інвалідності, склала 10,7% (250,3 тис. осіб),

II групу — 37,8% (919,0 тис. осіб), III групу — 45,5% (1 291,2 тис. осіб).

Найпоширенішими хворобами, які призводять до інвалідності, є хвороби системи кровообігу (24,4%), злоякісні новоутворення (20%), хвороби кістково-м'язової системи (11,1%), хвороби очей (3,7%), ендокринні хвороби, розлади харчування та порушення обміну речовин (4,2%).

Проаналізовано основні ознаки доступності для інвалідів можливості ведення незалежного життя. Виконано огляд проектів підтримки людей з обмеженими можливостями в Україні.

В рамках виконання у місті Харкові Міжнародного проекту «Secondary Cities» із захисту соціально вразливих верств населення України розроблено та впроваджено методику побудови картографічних моделей для людей з обмеженими можливостями.

Запропонована методика побудови картографічних моделей для людей з обмеженими можливостями, що практично апробована для міста Харкова у рамках Міжнародного проекту «Secondary Cities», надає громадянам та керівництву будь-яких адміністративних територіальних одиниць України перспективи для забезпечення особам з інвалідністю можливості користуватися усіма конституційними правами людини і основними свободами без дискримінації.

Список літератури

1. Інвалідність. Практичний посібник для парламентарів щодо Конвенції про права інвалідів та Факультативного протоколу до неї. – К.: ТОВ „Гранд-Прес”, 2008. – 152 с.
2. Холостова Є. І., Дементьєва Н. Ф. Соціальна реабілітація: Навчальний посібник. – М.: Дашков і Ко, 2006. – 340 с.
3. Соціальний захист населення України: Статистичний збірник. – Київ. – 2016. – 122 с.
4. Журавко О. В. Інваліди - частина нашого суспільства / О. Журавко, І. Антоненко, С. Кочерга, О. Родіонов. – Київ: Громадська організація інвалідів „Всеукраїнська асоціація працездатних інвалідів”, Харківське міське творче об’єднання інвалідів „Інвапрес”, 2009. – 120 с.
5. Азін В. О., Байда Л. Ю., Грибальський Я. В., Красюкова-Еннс О. В. Доступність та універсальний дизайн : навч.-метод. посіб. / за заг. ред. Байди Л. Ю., Красюкової-Еннс О. В. – Київ, 2013. – 128 с.
6. Моніторинг доступності інфраструктури для інвалідів: пошук партнерів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.irf.ua/allevents/news/monitoring_dostupnosti_infrastrukturi_dlya_invalidiv_poshuk_partneriv.
7. Універсальний Дизайн [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ud.org.ua.
8. Accessibility: principles and guidelines / Council of Europe. – Strasbourg, 2004. – 24 p.
9. Secondary cities [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://secondarycities.state.gov.
10. Порівняння додатків для заповнення форм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://doc.arcgis.com/ru/survey123/desktop/create-surveys/formappcomparision.htm.
11. Survey 123 for ArcGIS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://survey123.arcgis.com/#/surveys.
12. Зміна стилю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://doc.arcgis.com/ru/arcgis-online/create-maps/change-style.htm.
13. Стиль розташування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://doc.arcgis.com/ru/arcgis-online/create-maps/style-location.htm.
14. Застосування фільтрів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://doc.arcgis.com/ru/arcgis-online/create-maps/apply-filters.htm.
15. Виконання аналізу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://doc.arcgis.com/ru/arcgis-online/analyze/perform-analysis.htm.

References

1. *Disability. A practical guide for parliamentarians on the Convention on the Rights of Persons with Disabilities and the Optional Protocol thereto* (2008), Grand Press LLC, Kyiv, 152 p.
2. Holostova, E.I. and Dementieva, N.F. (2006), *Social Rehabilitation*, Dashkov & Co, Moscow, 340p.
3. *Social protection of the population of Ukraine: Statistical collection* (2016), Kyiv, 122 p.
4. Zhuravko, O.V., Antonenko I., Kocherga, S. and Rodionov O. (2009), *Disabled People - Part of Our Society*, Non-Governmental Organization of Disabled People's Disabled People's Organization, Kharkiv City Creative Association of Invalids Disabled People, Kyiv, 120 p.
5. Azin, O.O., Baida, L.Y., Gribalsky, Y.V. and Krasyukova-Enns O.V. (2013), *Availability and universal design: a teaching method tool*, Kyiv, 128 p.
6. *Disability Access Monitoring: Finding Partners*, available at: http: //www.irf.ua/allevents/news/monitoring_availability_infrastructure_dlya_invalidiv_poshuk_partneriv.
7. *Universal Design* (2019), available at: http://ud.org.ua.
8. *Accessibility: principles and guidelines* / Council of Europe. - Strasbourg, 2004. - 24 p.
9. *Secondary cities* (2019), available at: https://secondarycities.state.gov.
10. *Comparison of applications for filling in forms* (2019), available at: http://doc.arcgis.com/survey123/desktop/create-surveys/formappcomparision.htm.
11. *Survey 123 for ArcGIS* (2019), available at: http://survey123.arcgis.com/#/surveys.
12. *Change style* (2019), available at: http://doc.arcgis.com/arcgis-online/create-maps/change-style.htm.
13. *Location style* (2019), available at: http://doc.arcgis.com/arcgis-online/create-maps/style-location.htm.
14. *Application of filters* (2019), available at: http://doc.arcgis.com/arcgis-online/create-maps/apply-filters.htm.
15. *Performing the analysis* (2019), available at: http://doc.arcgis.com/arcgis-online/analyze/perform-analysis.htm.

Received (Надійшла) 16.10.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Андрєєв Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;
Sergey Andrieiev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: AndreevSM@gmail.com; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4256-2637

Жилін Володимир Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна;
Volodymyr Zhilin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Geoinformation Technologies and Space Monitoring of the Earth Department, National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovskiy "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: v.zhilin@khai.edu; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7342-3456

Картографические модели города Харькова для людей с ограниченными возможностями

С. М. Андреев, В. А. Жилин

Аннотация. Предметом исследования является методика построения тематических картографических моделей для анализа и принятия решения по инфраструктурной обстановке в населенных пунктах касательно ее доступности людям с ограниченными возможностями. **Объектом исследования** является процесс создания различных типов тематических картографических моделей, содержащих специфическую информацию о доступности определенных территорий для лиц с ограниченными физическими возможностями. **Целью работы** является повышение мобильности людей с ограниченными возможностями за счет информационной поддержки на основе актуальных картографических моделей на примере города Харькова. **Выводы.** Проанализирована общая ситуация и статистические данные по состоянию инвалидности граждан в Украине и странах ЕС. Определено, что в Украине более 2,6 млн. человек имеют статус инвалида. Это составляет 6,1% от общей численности населения, и эти показатели ежегодно растут. Почти 80% инвалидов в Украине — это люди трудоспособного возраста. На 1 января 2016 удельный вес лиц, имеющих I группу инвалидности, составила 10,7% (250,3 тыс. человек), II группу - 37,8% (919,0 тыс. человек), III группу - 45,5 % (1 291,2 тыс. человек). Самыми распространенными болезнями, которые приводят к инвалидности, являются болезни системы кровообращения (24,4%), злокачественные новообразования (20%), болезни костно-мышечной системы (11,1%), болезни глаз (3,7%), эндокринные болезни, расстройства питания и нарушения обмена веществ (4,2%). Проанализированы основные признаки доступности для инвалидов возможности ведения независимой жизни. Выполнен обзор проектов поддержки людей с ограниченными возможностями в Украине. В рамках реализации в городе Харькове Международного проекта «Secondary Cities» по защите социально уязвимых слоев населения Украины разработана и внедрена методика построения картографических моделей для людей с ограниченными возможностями. Предложенная методика предоставляет гражданам и руководству любых административных территориальных единиц Украины перспективы для обеспечения лицам с инвалидностью возможности пользоваться всеми конституционными правами человека и основными свободами без дискриминации.

Ключевые слова: люди с ограниченными возможностями; картографические модели; обеспечение свобод без дискриминации.

Cartographic models of the city of Kharkiv for people with disabilities

S. Andrieiev, V. Zhilin

Abstract. The subject of the study is the methodology for constructing thematic cartographic models for analysis and decision-making on the infrastructural situation in settlements regarding its accessibility to people with disabilities. **The object of research** is the process of creating various types of thematic cartographic models containing specific information about the accessibility of certain territories for people with disabilities. The aim of the work is to increase the mobility of people with disabilities through information support based on relevant cartographic models on the example of the city of Kharkov. **Conclusions.** The general situation and statistical data on the state of disability of citizens in Ukraine and the EU countries are analyzed. It is determined that in Ukraine more than 2.6 million people have disability status. This is 6.1% of the total population, and these figures are growing annually. Almost 80% of disabled people in Ukraine are people of working age. As of January 1, 2016, the proportion of people with a disability group I was 10.7% (250.3 thousand people), group II - 37.8% (919.0 thousand people), group III - 45.5% (1,291.2 thousand people). The most common diseases that lead to disability are diseases of the circulatory system (24.4%), malignant neoplasms (20%), diseases of the musculoskeletal system (11.1%), eye diseases (3.7%), endocrine diseases , eating disorders and metabolic disorders (4.2%). The main signs of accessibility for disabled people to lead independent lives are analyzed. A review of projects supporting people with disabilities in Ukraine has been completed. As part of the implementation of the Secondary Cities International Project in Kharkiv to protect socially vulnerable segments of the population of Ukraine, a methodology for constructing cartographic models for people with disabilities has been developed and implemented. The proposed methodology provides citizens and the leadership of any administrative territorial units of Ukraine with prospects for providing persons with disabilities with the opportunity to enjoy all constitutional human rights and fundamental freedoms without discrimination.

Keywords: people with disabilities; cartographic models; ensure freedom without discrimination.

УДК 004.7 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.03**

С. Г. Семенов[1], Н. Г. Кучук[1], Н. В. Лукова-Чуйко[2]

[1] Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
[2] Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПРОПУСКНИХ ЗДАТНОСТЕЙ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ ГІПЕРКОНВЕРГЕНТНОЇ МЕРЕЖІ

Анотація. При вирішенні завдань обміну інформацією в гіперконвергентній мережі виникає завдання визначення оптимальних пропускних здатностей каналів. **Предметом дослідження** є структура системи фізичних каналів зв'язку гіперконвергентної мережі. **Мета дослідження** – розроблення методу визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної мережі, котрий орієнтований на врахування особливостей функціонування гіперконвергентної мережі та конкретні особливості її експлуатації. **Результати.** Отримано аналітичні вирази для визначення оптимальних пропускних здатностей каналів гіперконвергентної мережі за допомогою методу невизначених множників Лагранжа при обмеженнях на вартість оренди каналів і мінімізації її середньої затримки, або при обмеженні середньої затримки у мережі із визначенням мінімальної вартості каналів. **Висновок**. Запропонований метод дозволяє обрати оптимальну структуру мережі зв'язку гіперконвергентної мережі, орієнтуючись або на підвищення продуктивності системи, або на зниження вартості послуги оренди каналів.

Ключові слова: канал зв'язку; гіперконвергентна мережа; пропускна здатність; інформаційний потік.

Вступ

Аналіз проблеми та наукових публікацій. На сьогодні при виборі мережевої платформи все частіше віддається перевага конвергентним і гіперконвергентним платформам [1, 2], які припускають об'єднання пам'яті, обчислювальних і мережевих ресурсів у пул, заздалегідь сконфігурованих для роботи в дата-центрі [3]. Гіперконвергентна платформа має централізоване управління різними ресурсами мережі, яке здійснюється за допомогою загальної консолі адміністрування [4, 5]. Централізоване управління потребує більш складних процедур управління ресурсами системи. Виникає питання визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної мережі [6].

На сьогодні розроблені і широко використовуються досить багато методів визначення оптимального оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку: точні методи, запропоновані в роботах [7–10]; наближені, що дозволяють отримувати локальні оптимальні рішення [11, 12]; чисельні і евристичні методи, що враховують специфіку базової мережі [13, 14]. Перераховані методи для оптимізації обсягу ресурсів при управлінні не в повній мірі враховують дискретний характер мережевих ресурсів і можливості системи фізичних каналів зв'язку. Також низка припущень при оптимізації пропускних здатностей мереж передачі даних, спрощують інтерпретацію результатів, але доволі часто не відповідає реальним умовам функціонування мережі [15–18]. Особливо це помітно при аналізі гіперконвергентних систем [2]. Отже, необхідно розробити метод методу визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної мережі.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення методу визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку гіперконвергентної мережі, котрий орієнтований на врахування особливостей функціонування гіперконвергентної мережі та конкретні особливості її експлуатації.

Результати досліджень

Оптимізація структури мереж зв'язку при обраної топології зводиться до вибору пропускних здатностей каналів зв'язку й розподілу потоків по них [11]. Вхідними даними для вирішення цього завдання є матриця вимог, а також залежність між пропускними здатностями каналів зв'язку та їх вартістю. Рішення задачі визначення оптимальних пропускних здатностей каналів зв'язку є можливим при таких умовах:

1) виконанні обмежень на вартість оренди каналів мережі ($C \le C_{зад}$) і мінімізації середньої затримки ($T_{сер} \to \min$);

2) виконанні обмежень на середню затримку у мережі ($T_{сер} \le T_{сер.зад}$) і мінімізації вартості оренди каналів мережі ($C \to \min$).

При такій постановці завдання змінними є пропускні здатності каналів зв'язку V_i, та потоки λ_i. Необхідно знайти такі значення пропускних здатностей каналів зв'язку та потоків, розподілених по них, при яких виконуються вищенаведені умови 1 та 2.

Збільшення пропускної здатності каналів зв'язку зменшує середню затримку в мережі, але збільшує вартість оренди каналів, що є основною особливістю задачі оптимізації. Для кожного каналу зв'язку гіперконвергентної мережі є залежність між його вартістю C_i та пропускною здатністю V_i. Вартість каналу також залежить від його довжини. При аналітичних дослідженнях залежність вартості лінії зв'язку від її пропускної здатності зазвичай висловлюють якимось неперервними функціями [11] і в найпростішому випадку ця залежність може бути задана лінійною функцією вигляду:

$$C_i = k \cdot V_i. \qquad (1)$$

Припустимо, що для кожного каналу зв'язку відомий потік λ_i. Потоки пакетів в різних напрямках каналів зв'язку можуть різнитися між собою. Однак на практиці пропускні здатності для цих каналів вибираються рівними. Визначимо середню затримку

на мережі T, представивши гіперконвергентну мережу як СМО типу M/M/1. Введемо спрощення до цієї моделі: всі черги пакетів будемо пов'язувати із входом до кожного каналу; з кожним i-м каналом будемо з про поставляти середню затримку на цьому каналі T_i (очікування обслуговування та час обслуговування); на вхід і-ої черги надходить пуассонівський потік пакетів з інтенсивністю λ_i; час обслуговування розподілений за експоненціальним законом із середнім часом обслуговування $\mu^{-1} \cdot C$. Це дозволяє зв'язати затримку всією мережею (T_{set}) із затримками в окремих каналах T_i, використавши формулу Літтла. Нехай γ – загальний трафік в мережі, тобто кількість пакетів в секунду, що надходять в мережу ззовні, або залишають її. Тоді, якщо T – середня затримка пакета, то $\gamma \cdot T$ є середньою кількістю пакетів, що знаходяться в мережі. З іншого боку, кількість пакетів в кожній черзі з тих же міркувань є $\lambda_i \cdot T_i$, а кількість пакетів по всіх n каналах:

$$\gamma\Phi = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \Phi_i \quad . \tag{2}$$

Але час обслуговування є пропорційним довжині пакета, тобто можна ввести параметр L, що характеризує середню довжину пакета. Тоді середня затримка пакета в мережі визначається середніми затримками на каналах:

$$T_i = 1/(\mu_i - \lambda_i), \tag{3}$$

де $\mu_i = V_i / \ell$, а ℓ – довжина пакету.

Підставляючи (3) в (2), отримаємо середню затримку у всій мережі як функцію змінних пропускних здатностей каналів зв'язку:

$$\begin{gathered} T_i = 1/(V_i/\ell - \lambda_i); \quad \rho_i = \ell \cdot \lambda; \\ T = \sum_{i=1}^{n} (\lambda_i/\gamma)\left(1/(V_i/\ell - \lambda_i)\right) = \\ = \frac{1}{-\gamma} \sum_{i=1}^{n} \frac{\ell \cdot \lambda_i}{V_i - \ell \cdot \lambda_i} = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^{n} \rho_i / (V - \rho_i). \end{gathered} \tag{4}$$

Мінімізуємо вираз (4). Для заданого потоку в каналі необхідна певна мінімальна пропускна здатність $\lambda_i L$. Якщо канали зв'язку будуть мати пропускну здатність $\lambda_i L = \rho_i$ черги на передачу нескінченно зростуть, що є станом насичення мережі. Це бачимо на рис. 1, де $T = \infty$. Тому необхідно вибрати пропускну здатність каналу трохи більшою мінімальної пропускної здатності. Виникає питання, наскільки пропускна здатність каналу повинна перевершувати мінімальну величину. Пошук екстремуму функції (4) не може бути проведений знаходженням часткових похідних за V_i, тому що на ці змінні накладено обмеження і є функціональна залежність (1).

Загальна вартість оренди каналів гіперконвергентної мережі може бути визначена зі співвідношення (K – коефіцієнт врахування вартості каналів):

$$C = K \sum_{i=1}^{n} V_i \quad . \tag{5}$$

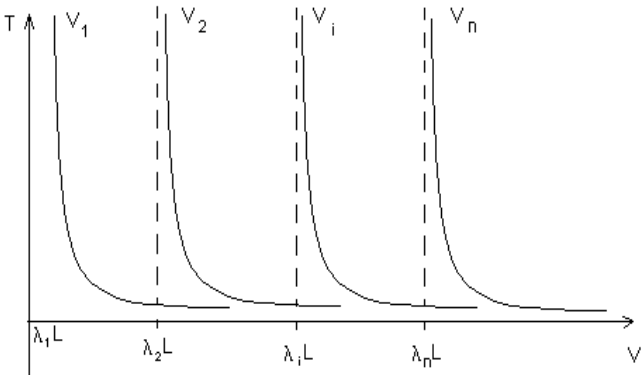


Рис. 1. Залежність середньої затримки від пропускних здатностей

Вирішимо задачу визначення мінімальної затримки на мережі при обмеженні на її вартість:

$$\begin{cases} T = \dfrac{1}{\gamma} \displaystyle\sum_{i=1}^{n} \dfrac{\rho_i}{(V_i - \rho_i)} \to \min; \\ C = K \displaystyle\sum_{i=1}^{n} V_i \le C_{зад}. \end{cases} \tag{6}$$

Пошук мінімальної середньої затримки T і оптимальних значень пропускних здатностей V_i, при заданих обмеженнях на вартість оренди каналів, здійснимо за допомогою методу невизначених множників Лагранжа. Оскільки в (6) обмеження на змінні V_i одне, введемо єдиний невизначений множник Лагранжа L. Функціонал оптимізації представимо у такому вигляді

$$\Phi = \frac{1}{\gamma} \sum_{i=1}^{n} \frac{\rho_i}{V_i - \rho_i} + L \cdot K \cdot \sum_{i=1}^{n} V_i \, . \tag{7}$$

Покладемо значення вартості C граничною, тобто

$$C = C_{зад}. \tag{8}$$

Прирівнюємо до нуля всі часткові похідні, тобто

$$\frac{\partial \Phi}{\partial V_i} = 0 \, . \tag{9}$$

Тоді

$$\frac{1}{\gamma} \frac{\rho_j}{\left(V_j - \rho_j\right)^2} - L \cdot K = 0, \quad j = \overline{1,n} \, . \tag{10}$$

З (10) знаходимо значення пропускних здатностей каналів зв'язку:

$$V_i = \rho_i + \sqrt{\frac{\rho_i}{PK\gamma}} \, . \tag{11}$$

Для знаходження множника Лагранжа L підставимо (11) у (6). тоді

$$K \cdot \sum_{i=1}^{n} \left(\left(\rho_i + \sqrt{\frac{\rho_i}{Pk\gamma}} \right) = C_{зад} \, , \right. \tag{12}$$

отже,

$$L = \frac{K}{\gamma}\left(\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\rho}_i \Big/ \left(C_{зад} - K\sum_{i=1}^{n}\rho_i\right)\right)^2. \quad (13)$$

Підставляючи (13) до (11), отримуємо оптимальні значення пропускних здатностей каналів зв'язку, що дають мінімум виразу (4):

$$V_j = \rho_j + \sqrt{\rho_j}\cdot\left(C_{зад} - K\sum_{i=1}^{n}\rho_i\right)\Big/\left(K\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\rho_i}\right); \quad (14)$$
$$i = \overline{1,n}\ ;\ j = \overline{1,m}.$$

Позначивши,

$$d_1 = \left(C_{зад} - K\sum_{i=1}^{n}\rho_i\right)\Big/\left(K\sum_{i=1}^{n}\rho_i\right) \quad (15)$$

одержимо.

$$V_j = \rho_j + d_1\sqrt{\rho_j}\ . \quad (16)$$

Знайдемо мінімальне значення середнього часу затримки у гіперконвергентній мережі при заданому обмеженні на її вартість:

$$T_{\min} = \frac{1}{d_1\cdot\gamma}\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\rho_i}\ . \quad (17)$$

Тепер визначимо мінімальну вартість мережі при фіксованій середній затримці, поклавши:

$$T = \frac{1}{\gamma}\sum_{i=1}^{n}\frac{\rho_i}{(V_i - \rho_i)} \le T_{зад}; \quad (18)$$

$$C = K\sum_{i=1}^{n}V_i \to \min\ . \quad (19)$$

Складемо функціонал оптимізації:

$$\Phi = K\sum_{i=1}^{n}V_i + \frac{L}{\gamma}\sum_{i=1}^{n}\frac{\rho_i}{V_i + \rho_i}\ . \quad (20)$$

Прирівнюючи часткові похідні нулю, тобто

$$\frac{\partial\Phi}{\partial V_i} = 0\ ,$$

отримуємо *n* рівнянь вигляду

$$K - \frac{L}{\gamma}\frac{\rho_j}{\left(V_j - \rho_j\right)^2} = 0\ , \quad (21)$$

звідки

$$\frac{{\rho_j}^2}{\left(V_j - \rho_j\right)^2} = \rho_j\frac{K\gamma}{L} \quad (22)$$

або

$$\frac{\rho_j}{V_j - \rho_j} = \sqrt{\frac{\rho_j\cdot K\cdot\gamma}{L}}\ . \quad (23)$$

Підставляючи праву частину (23) у (18), отримуємо:

$$\sqrt{\frac{K}{L\cdot\gamma}}\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\rho_i} = T_{зад}\ . \quad (24)$$

Знайдемо значення невизначеного множника Лагранжа:

$$L = \frac{K}{\gamma}\cdot\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\rho_i}\Big/T_{зад}^2\ . \quad (25)$$

Підставляючи (16) у (23) визначимо оптимальні значення пропускних здатностей ліній зв'язку V_i, що мінімізують вартість оренди каналів мережі^=:

$$V_j = \rho_j + \frac{1}{\gamma T_{зад}}\sqrt{\rho_j}\sum_{i=1}^{n}\rho_i\ . \quad (26)$$

Мінімальну вартість оренди каналів мережі отримуємо з такого виразу:

$$C_{\min} = K\sum_{i=1}^{n}\left(\rho_i + \frac{1}{\gamma T_{зад}}\sqrt{\rho_i}\sum_{i=1}^{n}\sqrt{\rho_i}\right). \quad (27)$$

Позначивши

$$d_2 = \frac{1}{\gamma T_{зад}}\sum_{i=1}^{n}\rho_i\ , \quad (28)$$

отримуємо

$$V_j = \rho_j + d_2\sqrt{\rho_j}\ . \quad (29)$$

Таким чином, при заданому обмеженні на середню затримку у гіперконвергентній мережі визначені оптимальні пропускні спроможності каналів зв'язку та мінімальна вартість оренди каналів.

В обох випадках оптимальні значення пропускних спроможностей перевищують мінімально допустимі значення $\rho = \lambda_i\cdot\ell$, котрі насичують мережу, на деяку величину ΔV_i.

У першому випадку ця величина дорівнює

$$\Delta V_i^1 = d_1\sqrt{\rho_i}\ , \quad (30)$$

а у другому випадку

$$\Delta V_i^2 = d_2\sqrt{\rho_i}\ . \quad (31)$$

Згідно рівнянням (30) і (31), додаткова пропускна здатність каналів зв'язку пропорційна квадратному кореню з величини потоків в даному каналі.

Висновок

Отримано аналітичні вирази для визначення оптимальних пропускних здатностей каналів гіперконвергентної мережі за допомогою методу невизначених множників Лагранжа при обмеженнях на вартість оренди каналів і мінімізації її середньої затримки, або при обмеженні середньої затримки у мережі із визначенням мінімальної вартості каналів. Запропонований метод дозволяє обрати оптимальну структуру мережі зв'язку гіперконвергентної мережі.

Напрям подальших досліджень – реалізація запропонованого методу зі зняттям обмежень на пропускну здатність окремих каналів у гіперконвергентному середовищі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Merlac V. Resourses Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform / V. Merlac, S. Smatkov, N. Kuchuk // DESSERT'2018. May 24-27, 2018. – P. 136-140. – URL :http://dx.doi.org/ 10.1109/DESSERT.2018.8409114
2. 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.
3. Donets V., Kuchuk N., Shmatkov S. Development of software of e-learning information system synthesis modeling process. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 117–121. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20.
4. Зиков І. С., Кучук Н. Г., Шматков С. І. Синтез архітектури комп'ютерної системи управління транзакціями e-learning. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 3. С. 60–66. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10.
5. Kuchuk N. Method for calculating of R-learning traffic peakedness / N. Kuchuk; O. Mozhaiev, M. Mozhaiev; 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.
6. Кучук Г.А. Управління трафіком мультисервісної розподіленої телекомунікаційної мережі / Г.А. Кучук // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІ НіУ, 2007. – Вип. 2. – С. 18-27.
7. Кучук Г. А., Можаєв О. О., Воробйов О. В. Метод агрегування фрактального трафіка. Радіоелектронні та комп'ютерні системи. 2006. № 6 (18). С. 181–188.
8. Коваленко А. А. Подходы к синтезу технической структуры компьютерной системы, образующей систему управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 1(38). – С. 116-119.
9. Кучук Г. А. Минимизация загрузки каналов святи вычислительной сети / Г.А. Кучук // Системи обробки інформації. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ, 1998. – Вип. 1(5). – С. 149-154..
10. Коваленко А. А. Оптимальное управление трафиком мультисервисной сети на основе методов последовательного улучшения решений / А.А. Коваленко, Г.А. Кучук // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 3(47). – С. 59-63.
11. Amin Salih M., Potrus M.Y. A Method for Compensation of TCP Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2015. Vol. 27, No 6. P. 59–68.
12. Коваленко А. А. Подходы к синтезу информационной структуры системы управления объектом критического применения / А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2014. – № 1(117). – С. 180-184.
13. Kuchuk G., Nechausov S., Kharchenko, V. Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store. *International Conference on Information and Digital Technologies*. 2015. P. 266-271.
14. Ruban, I. Redistribution of base stations load in mobile communication networks / I. Ruban, H. Kuchuk, A. Kovalenko // Innovative technologies and scientific solutions for industries. – 2017. – No 1 (1) – P. 75-81.
15. Кучук Г. А. Метод параметрического управления передачей данных для модификации транспортных протоколов беспроводных сетей / Г.А. Кучук, А.С. Мохаммад, А.А. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2011. – № 8(98). – С. 211-218.
16. Кучук Г.А. Метод мінімізації середньої затримки пакетів у віртуальних з'єднаннях мережі підтримки хмарного сервісу / Г.А. Кучук, А.А. Коваленко, Н.В. Лукова-Чуйко // Системи управління, навігації та зв'язку. – Полтава . ПНТУ, 2017. – Вип. 2(42). – С. 117-120.
17. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04
18. Свиридов А. С., Коваленко А. А., Кучук Г. А. Метод перерозподілу пропускної здатності критичної ділянки мережі на основі удосконалення ON/OFF-моделі трафіку. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 2. С. 139–144. DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24

REFERENCES

1. Merlac, V., Smatkov, S., Kuchuk, N. and Nechausov A. (2018), "Resourses Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform", *Conf. Proc. of 2018 IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Service and Technologies. DESSERT'2018*, Ukraine, Kyiv, May 24-27, pp. 136-140, – DOI: http://dx.doi.org/ 10.1109/DESSERT.2018.8409114
2. 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*, PNTU, Poltava, No. 2 (48), pp. 97-100.
3. 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, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.20.
4. Zykov, I.S., Kuchuk, N.H. and Shmatkov S.I. (2018), "Synthesis of architecture of the computer transaction management system e-learning", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 60-66, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10.
5. Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Mozhaiev; M. and Kuchuk, H. (2017), "Method for calculating of R-learning traffic peakedness", *4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2017*, pp. 359–362. URL : http://dx.doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246416.
6. Kuchuk, G.A. (2007), " Traffic management of multiservice distributed telecommunication network", *Systems of control, navigation and communication*, No. 2, pp. 18–27.
7. Kuchuk G.A., Mozhaev, O.O. and Vorobyov O.V. (2006), "The method of aggregation of fractal traffic", *Radio electronic and computer system,* No. 6 (18), pp. 181-188.
8. Kovalenko, A. A. (2014), "Approaches to the synthesis of the technical structure of a computer system forming the control system of an object of critical application", *Collection of scientific works of KhNU of Air Forces*, No. 1 (38), pp. 116-119.
9. Kuchuk, G. A. (1998), "Minimize the load on the network holiness channels", *Inf. Proc. Systems*, No. 1 (5), pp. 149-154.
10. Kovalenko, A.A. and Kuchuk, G.A. (2016), "Optimal traffic control of a multiservice network based on the methods of sequential improvement of solutions", *Systems of armament and military equipment*, No. 3 (47), pp. 59-63.

11. Amin Salih M. and Potrus M.Y. (2015), "A Method for Compensation of Tcp Throughput Degrading During Movement Of Mobile Node", *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol. 27, No 6, pp. 59–68.
12. Kovalenko, A.A. (2014), "Approaches to the synthesis of the information structure of the system for managing an object of critical application", *Information Processing Systems*, No. 1 (117), pp. 180-184.
13. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies*, Zilina, pp. 266-271.
14. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75–81.
15. Kuchuk G.A., Mohammad A.S. and Kovalenko, A.A. (2011), "The parametric data transmission control method for modifying the transport protocols of wireless networks ", *Information Processing Systems*, No. 8 (98), pp. 211-218.
16. Kuchuk, G.A., Kovalenko, A.A. and Lukova-Chujiko, N.V. (2017), "A method for minimizing the average latency of packets in the virtual connections of the cloud service support network", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 2 (42),- pp. 117–120.
17. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04
18. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24

Received (Надійшла) 10.10.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Семенов Сергій Геннадійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Serhii Semenov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: s_semenov@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4472-9234

Кучук Ніна Георгіївна – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Nina Kuchuk – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: nina_kuchuk@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-0784-1465

Лукова-Чуйко Наталія Вікторівна – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та захисту інформації, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна;
Nataliia Lukova-Chuiko – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Cyber Security and Information Protection Department, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine;
e-mail: lukova@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3224-4061

Метод определения оптимальной пропускной способности канала связи гиперконвергентнои сети

С. Г. Семенов, Н. Г. Кучук, Н. В. Лукова-Чуйко

Аннотация. При решении задач обмена информацией в гиперконвергентной сети возникает задача определения оптимальных пропускных способностей каналов. **Предметом исследования** является структура системы физических каналов связи гиперконвергентнои сети. **Цель исследования** - разработка метода определения оптимальных пропускных способностей каналов связи гиперконвергентной сети, который ориентирован на учет особенностей функционирования гиперконвергентной сети и конкретные особенности ее эксплуатации. **Результаты.** Получены аналитические выражения для определения оптимальных пропускных способностей каналов гиперконвергентной сети с помощью метода неопределенных множителей Лагранжа при ограничениях на стоимость аренды каналов и минимизации ее средней задержки, или при ограничении средней задержки в сети с определением минимальной стоимости каналов. **Вывод.** Предложеный метод позволяет выбрать оптимальную структуру сети связи гиперконвергентной сети, ориентируясь либо на повышение производительности системы, либо на снижение стоимости услуги аренды каналов.

Ключевые слова: канал связи; гиперконвергентная сеть; пропускная способность; информационный поток.

Method of determining optimal batch capacities of hyperconverged network

S. Semenov, N. Kuchuk, N. Lukova-Chuiko

Abstract. When solving the problems of information exchange in a hyperconverged network, the problem arises of determining the optimal channel throughputs**. The subject of this study** is the structure of the system of physical communication channels of a hyperconverged network. **The purpose of this study** is to develop a method for determining the optimal bandwidth of communication channels of a hyper-convergent network. It is focused on taking into account the features of the functioning of the hyperconverged network and the specific features of its operation. **Results.** Analytical expressions are obtained for determining the optimal bandwidth of the channels of a hyperconverged network. This was obtained using the method of uncertain Lagrange multipliers with restrictions on the cost of renting channels and minimizing its average delay. Or, when limiting the average delay in the network with determining the minimum cost of channels. **Conclusions.** The proposed method allows you to choose the optimal structure of the communication network of the hyperconverged network. It focuses on improving system performance, or reducing the cost of channel rental services.

Keywords: communication channel; hyperconverged network; bandwidth; information flow.

UDC 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.04**

A. Serkov[1], K. Trubchaninova[2], M. Mezitis[3]

[1] National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine
[2] Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine
[3] Riga Technical University, Riga, Latvia

METHOD OF WIRELESS TRANSMISSION OF DIGITAL INFORMATION ON THE BASIS OF ULTRA-WIDE SIGNALS

Abstract. The subject of the study are the organization of wireless transmission of digital information based on ultra-wideband signals. **The goal** is the development of models and methods for organizing broadband wireless communications operating in difficult interference environments. **The task** is to ensure the stable and safe operation of communication systems. **The methodology is based on** the method of generating ultra-wideband digital signals and the method of extracting ultra-wideband information signals in the communication channel with interference. **The methods used**: methods of analytical, simulation and inverse Fourier transform. **The following results are obtained**. A technique has been developed for wireless transmission of digital information based on ultra-wideband signals, which includes a method for generating ultra-wideband information signals with code spectral modulation and a method for extracting information signals in a communication channel with interference. An assessment of the effect of interference on the quality of the information being restored is performed. A special class of intra-system interference has been identified, which appears due to the multiplicity of delays in the information bit stream T_0 or T_1. It is shown that their appearance leads to an increase in the bit error when extracting information signals in the communication channel. A mechanism is proposed for eliminating these errors by setting the multiple delays T_0 and T_1 when generating ultra-wideband information signals. **Conclusions**. The use of communication channels with an ultra-wide frequency band makes it possible to simultaneously implement a set of requirements for the electromagnetic compatibility of telecommunication systems, high-speed transmission of information with high noise immunity with respect to external interference.

Keywords: ultra-wideband signal; wireless transmission; correlation technique; coherence.

Introduction

The rapid development of communication devices and their widespread practical application in private life for “smart homes” and at work (Industry Internet of Things - IIoT) in the implementation of the concept of “spatial intelligence” [1-3] requires the organization of communication between devices by introducing wireless digital information transfer . However, mobile wireless networks today are faced with two trends that will become in conflict with each other. The growth of the processing power of mobile terminals entails the growth of the processing capacity of applications running on them. This, in turn, leads to an increase in bandwidth requirements for mobile communication channels. It should be noted that the volume of mobile traffic is growing exponentially, and its appearance is becoming more diverse.

At the same time, the efficiency of the available frequency spectrum is close to saturation. The maximum bandwidth that can be achieved is approaching (within ≈ 20%) to the border with Shannon. And further improvements are likely to be too expensive to implement and provide only limited benefits.

In order to cope with such a significant increase in traffic, modern telecommunication systems must provide the possibility of noise immunity of transmitting digital information in a wireless network at a speed of 1-2 Mbps, the probability of error per bit of information is at least 10^{-5} and low radiation power in the frequency band up to 10 GHz. The 10 GHz frequency band is due to the fact that less attenuation of the radio signal that propagates in free space is observed in this frequency range [4, p.34].

An analysis of existing technological solutions [5] shows that they do not have the possibility of simultaneously implementing a set of modern requirements for high data transfer rates, the requirements of electromagnetic compatibility of telecommunication systems and their noise immunity with respect to external noise and interference, as well as countering the multipath propagation of radio signals. Therefore, the development of models and methods for organizing ultra-wideband (UWB) wireless communications, corresponding to a complex of modern requirements, is an extremely urgent problem.

1. Analysis of technical solutions

An analysis of existing and promising technical solutions in the field of organizing UWB wireless communications, conducted in 2002 by the US Federal Communications Commission [5], proved that the main place to use UWB signals is wireless personal area networks (WPAN), which have a low cost equipment and low power consumption. The Commission also proposed a frequency range (3.1 ... 10.6 GHz) and a power spectral mask for unlicensed UWB communication systems (-41.3 dBm / MHz) [5].

Previously, ultrashort pulses (frequency band of 7.5 GHz, pulse length of 150 nsec.) were used as an information carrier to increase the speed of information transfer when implementing UWB communication.

In addition, each pulse corresponds to one bit of information, which makes signal processing at the receiver very simple. Use of this technology is included in the IEEE 802.15.3a standard. However, due to limitations on the amplitude, the distance for transmission does not exceed 10 m., which is a significant limitation

for its use. To eliminate this limitation and increase the communication range, the signal level should be increased to 3 V, which contradicts the tendency to reduce the supply voltage and power consumption. Even more problems arise if it is necessary to ensure a transmission range of more than 50-60 m.

The solution to this problem is the transition from the transmission of one bit by one pulse to the transmission of one bit of information by a series of pulses [6]. In this case, while maintaining the radiation energy by one bit, it is possible to reduce the energy that falls on one pulse proportional to the number of pulses in a series. This means moving from signals with a single base to signals with a large base. Moreover, the basis of an ultrashort pulse signal is the product of the signal duration by the width of its spectrum.

The use of a sequence of ultrashort pulses for encoding an information bit is proposed in the IEEE 802.15.4a standard. However, in this case, the radiation signal in the framework of the implementation of this standard impose certain restrictions:

1. The maximum spectral density of UWB signals is limited to -41.3 dBm/MHz. Therefore, even when using the entire permitted range, the integrated radiation power should not exceed - 2.4 dBm.

2. Limit peak power. It should not exceed 0 dBm in the 50 MHz band. Thus, for the frequency band of 500 MHz, we have limitations of 20 dBm, and for the band of 2 GHz - 32 dBm.

3. Typically, the supply voltage of UWB communication systems in unlicensed systems does not exceed 2 V. Therefore, the voltage to the antennas will not exceed 1 V. Thus, when the antenna is matched to 50 Ohms, the peak power should be limited to 10 mW.

2. Methods of wireless transmission of digital information on the basis of UWB signals

Information is transmitted in radio systems with UWB spectrum by simultaneously emitting a coherent reference signal and a modulated information signal. In this case, the frequency range for communication systems is selected based on the requirements for the frequency resource for the unlicensed use of UWB signals with a low power of isotropic radiation, does not exceed the established limit [5].

2.1 Method for the formation of UWB information signals with code spectral modulation

An ultrawideband signal is formed in the form of a normal random process $n(t)$ with a zero mean value, a uniform spectrum $S(t)$ a frequency band Δf and a short-range correlation $R_n(\tau) = \sigma_n^2 R_n(\tau)$ for a short coherence time $\tau_c = 1/\Delta f$ The variance σ_n^2 characterizes the average power of a random signal $n(t)$.

The functional diagram that implements the proposed method is shown in Fig. 1.

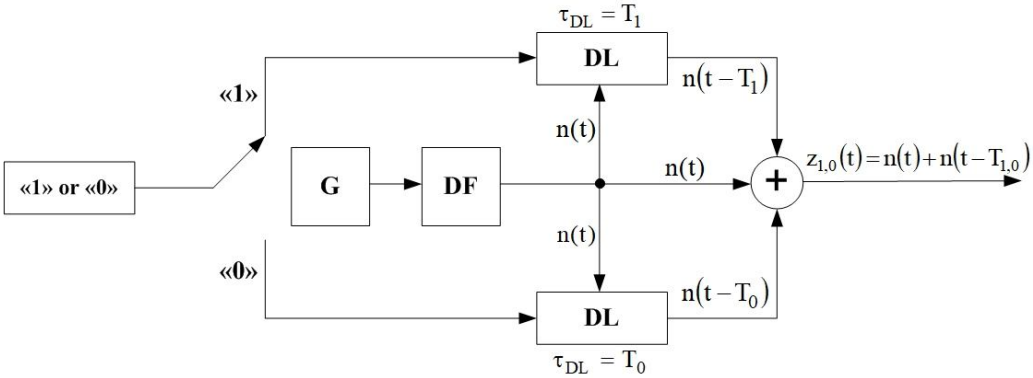


Fig. 1. Functional diagram of the formation of ultra-wideband information signals

The generator (G) in self-oscillating mode generates a sequence of ultrashort pulses - chips with a period of arrival t_d, which is fed to the input of a digital bandass filter (DF), which generates a signal $n(t)$. From the output of the DF, the ultra-wideband signal $n(t)$ goes to the input of the modulator, in which the division into information and reference signals is carried out. The transmission rate of information binary bits C_B depends on the duration T_B of each information bit $C_B = 1/T_B$. The number of chips on the duration of each information bit determines the following ratio $N_B = T_B / t_d$.

It was noted that all implementations of a random signal in a stream of information bits are mutually orthogonal.

The modulator has two delay lines. The reference sequence of chips of the information signal is delayed in the first line at the time T_1 upon receipt of the symbol «1», or in another delay line at the time T_0 upon receipt of the symbol «0». Switching delay lines from T_1 to T_0 is performed respectively by the stream of binary bits «1» or «0» from the information source. The channel switching process is shown in Fig. 1.

Moreover, we believe that the transmission coefficients $H_{1,0} = h_{1,0} \cdot \exp(i\theta_{1,0})$ and the delay $T_{1,0}$ of both lines are independent of the frequency f in the UWB band Δf of the signal $n(t)$ so that the following conditions are met:

$$h_1 = h_0 = 1;\ \theta_1 = \theta_0 = 0. \quad (1)$$

In the linear adder, the reference signal $n(t)$ is added to one of the UWB chips of the signals delayed by the time T_1 or T_0 depending on the arrival of the characters «1» or «0».

$$Z_{1,0}(t) = n(t) + n(t - T_{1,0}), \quad (2)$$

where $Z_{1,0}(t)$ – total signal; $n(t)$ – UWB reference signal; $n(t - T_{1,0})$ – information chip, delayed for a while $T_{1,0}$.

The power spectrum of the total UWB signal $Z_{1,0}(t)$ is calculated over a duration time T_B of one information symbol modulated by a periodic function in the form:

$$\hat{S}_z(f) = 2\hat{S}_n(f) \cdot \left(1 + \cos\left(2\pi f T_{1,0}\right)\right), \quad (3)$$

where $\hat{S}_z(f)$ and $\hat{S}_n(f)$ are random estimates of the power spectrum for the total $Z_{1,0}(t)$ and reference $n(t)$ UWB signals for a finite analysis time T_B.

Compilation of completely incoherent signals occurs when delays T_0 and T_1 of information signals $n(t - T_1)$ and $n(t - T_0)$ relative to the reference signal $n(t)$ significantly exceed the coherence time

$$\tau_c \approx 1/\Delta f$$

UWB signal $n(t)$:

$$T_{1,0} >> \tau_c \quad \text{or} \quad T_{1,0}(\Delta f) >> 1. \quad (4)$$

In the case of interference of completely incoherent UWB signals, when conditions (4) are satisfied, the spectral density (3) is modulated by a harmonious function depending on the frequency f with a periodicity scale equal to

$$\delta \cdot f_{1,0}(t) = 1/T_{1,0}.$$

Power spectra calculated over a finite time T_B, equal to the length of the information bit are random functions. The frequency band of UWB signals is Δf, and the coherence time is on the order of

$$\tau_c \approx 1/\Delta f.$$

The power of the total UWB signal $Z_{1,0}(t)$ determines its dispersion σ_z^2 and is equal to twice the power

$$\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$$

of the initial signal $n(t)$ under conditions of complete incoherence of the reference and delayed UWB signals [7, 8]. The total signal from the transmitter output enters the communication channel with additive Gaussian white noise.

We assume that the transmission coefficient of the communication channel does not depend on the frequency and is equal to unity in the band Δf of the UWB signal $n(t)$.

2.2 Method for extracting information UWB signals in a communication channel with interference

The received signal in the form of an additive mixture of the total signal and the Gaussian noise is fed to the input of the DF with the same passband Δf, as in the transmitter (Fig. 2).

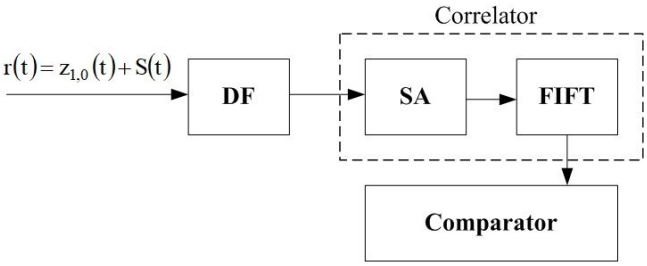


Fig. 2. Functional diagram of the receiver with UWB signal processing

At the output of the DF filter, a signal is generated in the form of the sum of the transmitted UWB signal $Z_{1,0}(t)$ and the Gaussian noise spectrum $S(t)$ matched by the spectrum.

$$r(t) = Z_{1,0}(t) + S(t) = \\ = \left(n(t)n(t - T_{1,0})\right) + S(t). \quad (5)$$

The interference $S(t)$ has a dispersion σ_s^2 with a fast-falling correlation

$$R_S(\tau) = \sigma_s^2 R_S(t)$$

and the uniform spectrum $S_s(t)$ in the same frequency band Δf, as for the information signal $Z_{1,0}(t)$. The signal-to-noise ratio (SNR) at the receiver input determines the ratio of the received signal power and Gaussian interference in the form

$$q = \sigma_z^2 / \sigma_s^2 = 2\sigma_n^2 / \sigma_s^2.$$

We assume that the useful signal is $Z_{1,0}(t)$ and random interference $S(t)$ is completely incoherent with each other.

Then the power spectrum for the received signal $r(t)$ s defined as:

$$\hat{S}_r(f) = \\ = 2\hat{S}_n(f) \cdot \left(1 + \cos\left(2\pi f T_{1,0}\right)\right) + \hat{S}_s(f). \quad (6)$$

Spectrum (6) has the function of periodically modulated in frequency according to the bit stream and component $\hat{S}_s(f)$ in the form of an interference spectrum. In formula (6), the spectra $\hat{S}_r(f)$, $\hat{S}_n(f)$ and $\hat{S}_s(f)$ for the received signal $r(t)$, reference signal $n(t)$ and interference $S(t)$ are random estimates for a finite time duration T_B, information transfer bit.

The solution to the problem of removing UWB information signals in a communication channel with interference is carried out by the inverse Fourier transform of the measured power spectrum (6) for the received signal (5) [9].

The receiver coherently compresses the received UWB signals (5) into the frequency band of the transmitted messages according to the results of double spectral analysis.

The expected correlation $R_r(\tau)$ is calculated from the inverse Fourier transform of the measured power spectrum $S_r(\omega)$, $\omega = 2\pi f$ the received signal $r(t)$.

$$R_r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} S_r(\omega) e^{j\omega t} \, d\omega. \quad (7)$$

The complex autocorrelation function calculated by formula (7) using relation (6) for the power spectrum of the received signal (5) has the following form:

$$\hat{R}_r(\tau) = \\ = \sigma_n^2 \left[2\hat{R}_n(\tau) + \hat{R}_n(\tau - T_{1,0}) \right] + \sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau). \quad (8)$$

The complex autocorrelation function of the received signal has an information correlation peak $\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{1,0})$ with offset T_1 or T_0 according to the binary bit stream (1; 0). also has autocorrelation functions $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau)$ and $\sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau)$ for the reference UWB signal $n(t)$ with double power $2\sigma_n^2$ and external interference $S(t)$ with power σ_s^2.

The correlator in the receiver (Fig. 2) has a digital AS spectrum analyzer and a digital Fourier processor - BZPF.

At the output of the digital spectrum analyzer, during T_B of each transmitted bit, the power spectrum of the received UWB signal is determined in the form (6). The digital Fourier processor performs fast inverse Fourier transform for an array of digital reviews, which are formed at the output of the AS spectrum analyzer.

Based on the results of double spectral processing during the appearance of each bit of information, the quadrature components for the complex autocorrelation function (8) are determined in the form:

$$\hat{R}_{r,cos}(\tau) = 2\int_0^{\infty} S_r(f) \cos(2\pi f) df; \quad (9, a)$$

$$\hat{R}_{r,sin}(\tau) = 2\int_0^{\infty} S_r(f) \sin(2\pi f) df. \quad (9, b)$$

The module for the complex autocorrelation function is calculated as the mean square value of the real and imaginary parts in the form:

$$\left| \hat{R}_r(\tau) \right| = \left[\hat{R}_{r,cos}^2(\tau) + \hat{R}_{r,sin}^2(\tau) \right]^2. \quad (10)$$

The quadrature components $\hat{R}_{r,cos}(\tau)$ and $\hat{R}_{r,\sin}(\tau)$ of the complex autocorrelation function $\hat{R}_r(\tau)$ are determined by the fast inverse Fourier transform using the basic functions $\cos(\omega\tau)$ and $\sin(\omega\tau)$ from T_1 or T_0 the power spectrum (6) for the received signal [10].

The comparator at the output of the digital Fourier processor (Fig. 2) compares the information correlation peaks with a shift of T_1 or T_0 for module (10) and determines from them the largest correlation peaks that correspond to the transmitted bit «1» or «0». Thus, the receiver performs unambiguous restoration of the transmitted binary information.

2.3 Assessing the impact of interference on the quality of information recovery

The influence of external noise in the communication channel is accompanied by an increase in random outliers for the autocorrelation function $\hat{R}_r(\tau)$ in the region of information peaks $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{1,0})$ with a shift $\tau = T_{1,0}$ which leads to an increase in the error when restoring the transmitted binary information to the receiver.

Level of random lateral emissions for the module $\left| \hat{R}_r(\tau) \right|$ depends on the shift τ, which complicates the procedure for subsequent extraction of the transmitted information. Under the influence of external noise, the relative value of information peaks with a shift of $\tau = T_{1,0}$ decreases. Abnormally large lateral emissions for the module $\left| \hat{R}_r(\tau) \right|$ observed at multiple shifts $\tau = jT_{1,0}$ (j=2,3,4). First of all, this concerns the double delay multiplicity $\tau = 2T_{1,0}$ both in the absence of interference and under the influence of interference in the communication channel.

Lateral outliers with a triple delay $\tau = 3T_{1,0}$ are characterized by a lower amplitude so that they are difficult to identify by the arrival of one information bit.

The autocorrelation functions $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau)$ and $\sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau)$ also have correlation peaks with zero shift $\tau = 0$. The total value of the correlation peaks $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(0)$ and $\sigma_s^2 \hat{R}_s(0)$ with a zero shift $\tau = 0$ can significantly exceed the level of information peaks $\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{1,0})$ when exposed to powerful interference.

Long-range random outliers for the autocorrelation functions $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau)$ and $\sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau)$ with a time shift $\tau >> \tau_c$ also reach the position of information peaks $\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{1,0})$ with offset T_1 or T_0 and affect them, which leads to a shift in the estimate for information peaks and an increase in bit error during information retrieval at the receiver.

Thus, a special class of intra-system interference is determined due to the multiplicity of information delays T_0 or T_1.

Random emission of correlation peaks with multiple landslides $jT_{1,0}$ (j=2,3,4) lead to an increase in the bit error for UWB communication systems when multiple delays T_0 and T_1 are set when applying code modulation during transmission, for example,

$$T_1 = 2T_0; \; T_1 = 3T_0.$$

So, under conditions of double multiplicity $T_1 = 2T_0$ the position of the information peak with a

shift T_1 is combined with the position of the lateral correlation peak with a multiple delay of $2T_0$.

When transmitting a «0» bit with a delay T_0 abnormally high fluctuations occur with a multiple offset of $2T_0$ for the autocorrelation function module $\left|\hat{R}_r(\tau)\right|$ at the location of the information peak T_1. As a result, the probability of an erroneous decision in registering a «1» bit increases, when in reality a «0» bit is transmitted. Elimination of additional intra-system interference due to the multiplicity of information delays in UWB communication systems consists in the set of multiple delays T_0 and T_1 among themselves in the process of code spectral modulation of UWB signals in the transmitter. Indeed, with multiple delays T_0 and T_1 for information UWB signals, the important condition $T_1 \neq jT_0$ (j=2,3,4) is fulfilled.

In this case, there ***is no overlap*** in the secondary spectrum of the position for the information peak T_1, which corresponds to «1» bit, and the position for side peaks with multiple landslides jT_0, which occur during the transmission of «0» bits. Moreover, random outliers at lateral correlation peaks with multiple landslides jT_0 *(j=2,3,4)* do not affect the reliability of binary symbol transmission under conditions $T_1 \neq jT_0$ when delays are not multiple.

3. Analysis

The information signals in the interference communication channel are removed by the inverse Fourier transform from the measured power spectrum for the received signal, whose autocorrelation function is an information correlation peak with a shift T_1 or T_0 according to the binary bit stream and the autocorrelation function for the reference signal and external interference. Further comparison of information correlation peaks with a shift of T_1 or T_0 determines the largest of them, which corresponds to the transmitted bit «1» or «0».

The influence of external noise in the communication channel is accompanied by an increase in additional random outliers for the autocorrelation function in the region of information peaks, which leads to an increase in the error in recovering the transmitted binary information in the receiver, especially due to the multiplicity of information delays T_0 or T_1. The elimination of these additional intra-system interference consists in the establishment of multiple delays T_0 and T_1 in the process of code spectral modulation of ultra-wideband signals in the transmitter.

Conclusions

The developed technique for wireless transmission of digital information on the basis of ultra-wideband signals, which includes a method for generating information signals with code spectral modulation and a method for extracting information signals in a communication channel with interference. The impact of interference on the quality of the recovered information has been evaluated. It is shown that the use of communication channels with an ultra-wide frequency band makes it possible to simultaneously implement a set of requirements for the electromagnetic compatibility of telecommunication systems, high speed information transfer and noise immunity with respect to external noise and interference.

Thanks

This work was partially funded by the European Union in the context of the project “dComFra - Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens” (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) under the ERASMUS + program. The European Commission's support for the creation of this work does not mean full approval of its content, which reflects only the views of the authors. The Commission cannot be held responsible for any use of the information posted in this work.

REFERENCES

1. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M., Churyumov, G. and Issam, Saad (2017), “Noise-like signals in wireless information transmission systems”, *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 33-39, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06
2. Serkov, O.A. and Churyumov, G.I. (2019), “On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication Systems”, *Applied Radio Electronics*, KHNURE, Kharkiv, Vol. 16, No. 3-4, pp. 117-121.
3. Serkov, A., Kravets, V., Yakovenko, I., Churyumov, G., Tokariev, V. and Nannan, W. (2019), “Ultra Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles”, *10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*, Leeds, United Kingdom, pp. 25-28, DOI: https://doi.org/10.1109/DESSERT.2019.8770039
4. Harmuth, H.F. (1981), *Non sinusoidal Waves for Radar and Radio Communication*, Academic Press, New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco, 376 p.
5. *FCC News Release* (2002), New public safety applications and broadband internet access among uses envisioned by FCC authorization of ultra-wideband technology, available at: https://transition.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/News_Releases/2002/nret0203.html
6. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M. and Kravets, V. (2018), “Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 145-148, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25
7. Zyuko, A.G., Klovsky, D.D., Nazarov, M.V. and Fink, L.M. (1986), *Theory of signal transmission*, Radio and communications, Moscow, 304 p.
8. Belyaev, R.V., Kalinin, V.I. and Kolesov, V.V. (2001), “The formation of a noise-like carrier in communication systems with spreading”, *Radio engineering and electronics*, Vol. 46, No. 2, pp. 214-223.
9. Serkov, A., Kravets, V., Kasilov, O., Lazurenko, B. and Mickus A. (2019), “The concept of information security in the IoT system”, *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No.1, pp. 136-139, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.23

10. Kalinin, V.I. (2005), “Ultra-wideband information transmission with double spectral processing of noise signals”, *Letters in ZhTF*, Vol. 31, Is. 21, pp. 58-63.

Received (Надійшла) 16.09.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Серков Олександр Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна;
Aleksandr Serkov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: saa@kpi.kharkov.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6446-5523

Трубчанінова Каріна Артурівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного зв’язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,
Karina Trubchaninova – PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Associate Professor of Transport Communication Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: tka2@ukr.net; ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2078-2647

Мезітіс Марек – доктор технічних наук, професор, професор кафедри залізничної автоматики та телематики, Ризький технічний університет, Рига, Латвія;
Mareks Mezitis – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Railway automatics and telematics Department, Riga Technical University, Riga, Latvia;
e-mail: marek@dzti.edu.lv; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3132-8335

Методика безпроводової передачі цифрової інформації на грунті надширокосмугових сигналів

О. А. Серков, К. А. Трубчанінова, М. Мезітіс

Анотація. Предметом вивчення є організація безпроводової передачі цифрової інформації на грунті надширокосмугових сигналів. **Мета** – розробка моделей і методів організації надширокосмугового беспроводового зв’язку, що працює в умовах складної завадової обстановки. В основу **методики** покладено метод формування надширокосмугових цифрових сигналів та метод вилучення надширокосмугових інформаційних сигналів в каналі зв’язку з завадами. **Задача** – забезпечення усталеної та безпечної роботи системи зв’язку. Використані **методи**: методи аналітичного, імітаційного моделювання та зворотнього перетворення Фур’є. Отримані наступні **результати**. Розроблена методика безпроводової передачі цифрової інформації на грунті надширокосмугових сигналів, до складу якого включено метод формування надширокосмугових інформаційних сигналів з кодовою спектральною модуляцією та метод вилучення інформаційних сигналів в каналі з завадами. Виконана оцінка впливу завад на якість передаваємої інформації. Виявлено особливий клас внутрішньосистемних завад, які з’являються внаслідок кратності затримок в інформаційному потоці бітів T_0 або T_1. Показано, що їх поява призводить до підвищення бітової похибки під час вилучення інформаційних сигналів в каналі зв’язку. Запропоновано механізм усунення цих похибок шляхом встановлення некратних затримок T_0 і T_1 під час формування надширокосмугових інформаційних сигналів. **Висновки.** Використання каналів зв’язку із надширокою смугою частот дає можливість одночасної реалізації комплексу вимог по електромагнітній сумісності телекомунікаційних систем, великій швидкості передачі інформації з високою завадостійкістю по відношенню до дії зовнішніх завад.

Ключові слова: надширокосмуговий сигнал; безпроводова передача; кореляційний прийом; когерентність.

Методика беспроводной передачи цифровой информации на основен сверхширокополосных сигналов

А. А. Серков, К. А. Трубчанинова, М. Мезитис

Аннотация. Предметом изучения является организация беспроводной передачи цифровой информации на основе сверхширокополосных сигналов. **Цель** - разработка моделей и методов организации широкополосной беспроводной связи, работающей в условиях сложной помеховой обстановки. **В основу методики** положены метод формирования сверхширокополосных цифровых сигналов и метод извлечения сверхширокополосных информационных сигналов в канале связи с помехами. **Задача** - обеспечение устойчивой и безопасной работы систем связи. Используемые **методы**: методы аналитического, имитационного моделирования и обратного преобразования Фурье. Получены следующие **результаты**. Разработана методика беспроводной передачи цифровой информации на основе сверхширокополосных сигналов, в состав которой включены метод формирования сверхширокополосных информационных сигналов с кодовой спектральной модуляцией и метод извлечения информационных сигналов в канале связи с помехами. Выполнена оценка влияния помех на качество восстанавливаемой информации. Выявлен особый класс внутрисистемных помех, которые появляются вследствие кратности задержек в информационном потоке битов T_0 или T_1 Показано, что их появление приводит к повышению битовой ошибки при извлечении информационных сигналов в канале связи. Предложен механизм устранения этих ошибок путем установки некратных задержек T_0 и T_1 при формировании сверхширокополосных информационных сигналов. **Выводы**. Использование каналов связи со сверхширокой полосой частот дает возможность одновременной реализации комплекса требований по электромагнитной совместимости телекоммуникационных систем, большой скорости передача информации с высокой помехоустойчивостью по отношению к действию внешних помех.

Ключевые слова: сверхширокополосный сигнал; беспроводная передача; корреляционный прием; когерентность.

Information systems research

UDC 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.05**

N. Bihun[1], A. Shyshatskyi[1], O. Bondar[2], S. Bogrieiev[3], O. Sova[4], O. Trotsko[4], O. Nalapko[1]

[1] Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv
[2] Military unit A0224, Mykolaiv, Ukraine
[3] Military unit A0172, Kyiv, Ukraine
[4] Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE PECULIARITIES OF THE COMMUNICATION ORGANIZATION IN NATO COUNTRIES

Abstract. According to the Military doctrine of Ukraine, one of the central tasks is to reform the Armed Forces of Ukraine in order to achieve interoperability and technical compatibility with the armed forces of NATO member states, as well as adherence to the standards of work, division of functions and core tasks adopted in the EU and NATO member states. Today, there is a need to improve the system of communication between governing bodies in the military management system. However, the slow pace of implementation of NATO standards is significantly hampering this process. One reason for this is the lack of attention to the adaptation of the Ukrainian Armed Forces' operational planning system to similar systems used in NATO countries. The article analyzes the principal principles of the communications organization and discusses the key steps involved in developing an operational plan based on the capabilities of NATO member countries. Since communication planning is one of the major elements of NATO operations planning, the authors of that article analyzed the operational planning of the communications and information system planning, taking into account the need to align Ukraine's Armed Forces management systems with NATO standards. During the research, the authors examined the main steps involved in planning the communications system, identified the factors that influence its planning process. Therefore, a promising direction for further research by the authors should be considered the justification of ways to improve the planning process of the Armed Forces communications system and detailed research of NATO documentation and standards, in terms of organization and planning of communications, in order to explain the requirements for the military management system in Ukraine. This will allow the harmonization (integration) of Ukraine's national development plans with the NATO defense plan.

Keywords: standards; capability; NATO; Armed Forces of Ukraine; duration system; operational planning; process.

Introduction

A successful development of information technologies (IT) has become a generator of positive examples of their active implementation in various spheres of human life, including in the combat use of troops (forces) and weapons for success achievement during the hostilities.

In this regard, NATO leadership is stepping up activities aimed at enhancing the use of NATO the combined armed forces (CAF) by integrating advanced information technology into decision-making processes, operational planning, and troop and weapon management. in operations of different nature and scale. The main approaches to harnessing new technological advances in the interests of NATO's CAF are set out in the concept of single information space (SIS) of the NATO network-enabled capability (NEC), which is based on a similarly validated NCW (Network-Centric Warfare) concept. during the fighting of the US Armed Forces in Afghanistan and Iraq.

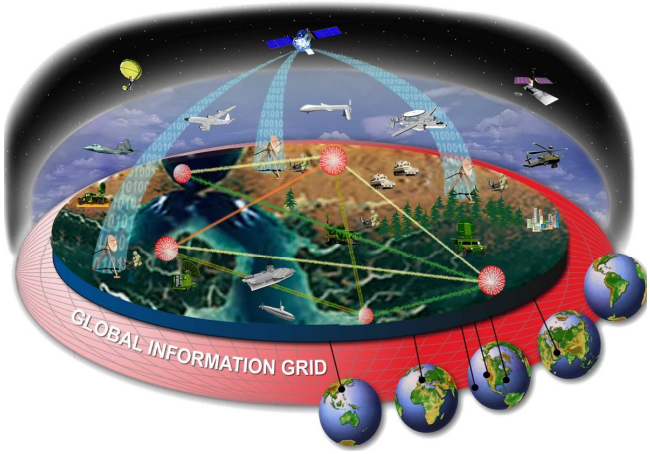
The SIS NATO concept envisages the creation of a global information environment that provides comprehensive real-time processing of enemy information, troops and the surrounding area in order to support decision-making on the creation of troops of the optimal composition and their effective use in different conditions.

The availability of such an information environment should ensure the effective interaction of all governing bodies and forces of the alliance. According to the military experts of the NATO bloc, the successful implementation of the SIS concept will radically change the procedure for providing military management with information about the enemy, their troops and the surrounding area. The implementation of NATO's SIS concept should not only address these shortcomings but also radically change the approach to operational planning and command of the alliance's weapons during day-to-day operations and crisis management during large-scale military operations. Intelligence information from the various extraction systems, after processing and approval by the respective supervisor, will be continuously transmitted to the SIS databases, from which all interested officials may receive (upon request or in automatic proofing mode), in the presence of special network devices for connection to the SIS. availability of appropriate access to this information.

In this case, intelligence can be provided in standard formats adapted for immediate use in headquarters.

In recent years in Ukraine, special attention has been given to this issue, so, according to the strategic defense bulletin, it has been defined: „… Operational objective 1.4. Creation of an effective system of operational (combat) command, communication, intelligence and surveillance (C4ISR)", the end result of which is: „... creation of a national telecommunication network, modernization and transfer to modern digital

technologies of the special communication system, departmental information and communication networks and communication systems of public authorities, as well as the creation of an automated C4ISR system of constituent defense forces that meets NATO standards, doctrines and recommendations, ensuring its integration in the system of management of defense resources ... " [1] (Fig. 1).



C4ISR Market Application (Command & Control, Communications, Computers, ISR, EW) Forecast to 2021

Fig. 1. General structure of the C4ISR automated system

NATO standards can be roughly divided into administrative, operational and logistical:

– administrative standards define the processes of management and exchange of information, the procedure for working with documentation;

– operational standards are aimed at the operational planning of the use of troops;

– material and technical standards define uniform requirements for the allies' weapons and military equipment, life cycle management, and codification of security items.

It should be noted that each NATO member state has its own national standardization system, that is, each country has its own national standards, and they are all different.

For example, the United States, the United Kingdom of Great Britain, other countries plan military operations according to their operational standards. But while acting within the NATO contingent, they are guided by common standards. That is why the issues of interoperability are very important [1].

The operational planning process is a logical sequence of cognitive processes and other activities undertaken by the commander and the officers of the staff to analyze the situation, outline the requirements for the task and determine the best way to accomplish the tasks and achieve the desired military result.

Objectives of the operational planning process: standardization of the planning process; improving the commander's ability to manage and direct the plan development process; maximizing the capacity of the logical and creative thinking of the officers of the staff, which facilitates the decision of the commanders in the conditions of uncertainty and when there is insufficient amount of time that information; assisting the commander in coordinating and joining forces and combining forces and commands during operational planning.

While conducting joint operations, the successful integration of communication and information systems (CIS) requires that strict technical and management standards be introduced throughout the network. Integration involves combining different components of the system so that the combination of individual systems, capabilities, and functions can effectively collaborate without affecting other elements.

The purpose of joint management of the CIS is ensuring the centralized control and decentralized use of the CIS resources in accordance with the joint force commander (JFC) operational requirements and the revision of priorities. Communication and information systems can provide support and technical solutions for implementing information management in your organization.

Communication plans issued during the development of a particular transaction must be distributed well in advance of the operation to ensure that all communications networks and/or circuits are operational before the operation begins. In addition, it will provide the commanders with the channels necessary to issue advance instructions to units under their control.

Therefore, ***the purpose of the article*** is to analyze the peculiarities of the organization of operational planning of the communication system and information systems on the basis of capabilities in NATO member states, to find out the problematic aspects of the existing system of operational planning of the CIS of the Armed Forces of Ukraine and to determine the main directions of its improvement based on the experience of the states (members of the alliance).

Presentation of the main material

Operational Planning Process is a logical sequence of processes and procedures for analyzing the situation, identifying the requirements for the operation (mission) and possible options for action. In addition, during the OPP determine the composition of forces and devices required for the operation.

According to the procedures, the OPP is practically always in parallel at all NATO leadership levels with very wide use of liaison officers [2].

Unlike the Armed Forces of Ukraine, where the main planning unit is operational management, temporary planning units are established in NATO structures:

at the strategic level it is *Strategic Operational Planning Group* (SPOG);

at the operational level it is *Joint Operational Planning Group* (JPOG);

at the tactical level, depending on the *Component Commands*, for the Airborne Component Command, it is the *Air Operational Planning Group*.

The *Joint Operational Planning Group* (JPOG) is the main unit in the NATO operational headquarters responsible for the OPP.

The responsibilities of the JOPG are:

– operational planning conduction;

– advising the commander on medium- and long-term military operations, including the Courses of Action (COA);

– identifying the needs in strengths and resources required for COA provision, which are preferred by the commanding officer (compiling a multinational statement of requirements);

– preparation and conducting of briefings of the *Mission Analysis Briefing* (MAB), *Decision Briefing* (DB) commander;

– preparation of *Commander's Planning Guidance* (CPG) documents, *Concept of Operations* (CONOPS) and *OPLAN*s (Operations Plan);

– coordinating OPP with other staffs (senior, subordinate and interacting officers);

– review of *Component Commands* plans to ensure consistency with the intention of the Commander Joint Force Command HQ.

The composition of JOPG is not permanent, it is appointed in view of the peculiarities of the operation. The JOPG head is assigned to the ACOS J-5 (Assistant Chief of Staff J5 crisis and deliberate planning) of the planning division.

Typically, JOPGs include:

– officers from *Planning Team Sections Branch* (PB);

– representatives of other departments and services (as appropriate) as a liaison with their departments and services, as well as communication and interaction officers [2].

Planning for communications and information systems is an integral part of NATO's planning process at three levels: strategic, operational and tactical. The active involvement of non-NATO third-party organizations must be taken into account at all levels of CIS planning.

Communication and information systems allow the commander to plan, execute, and exercise ongoing control of operations and exercises.

At the strategic level, planning is carried out in accordance with the crisis operations management process, as described in the Comprehensive Operations Planning Directive (COPD).

CIS contributes the following supporting elements to the strategic level plan: strategic analysis of the CIS, strategic evaluation of the CIS, strategic CONOPS (Strategic Concept of Operations), management of the CIS, strategic leadership of the planning of the CIS and the plan for the provision of the CIS [3].

Operational planning responsibilities are determined at the strategic level, with planning being done through integrated command, component command, or multinational component command level.

The planning process at the operational level consists of the necessary steps to support the commanding officer and the operational staff in the development of the operation plan of the operational level, including carrying out the process of operational evaluation. These steps also include participating and conducting an operational assessment during the operation to review or adjust the plan as needed. Planning steps:

Step 1 – Initial stage (operational situation assessment).

Step 2 – Situation assessment and mission analysis (Problem analysis and mission purpose definition).

Step 3 – Development of a course of action.

Step 4 – Analysis of the course of activity.

Step 5 – Check and compartment of the analysis of the activity course.

Step 6 – Commander's decision on action course.

Step 7 – Development of a CONOPS operational level and plan.

Step 8 – Evaluation and revision/adjustment of the plan.

Typical operational planning processes are shown in Fig. 2.

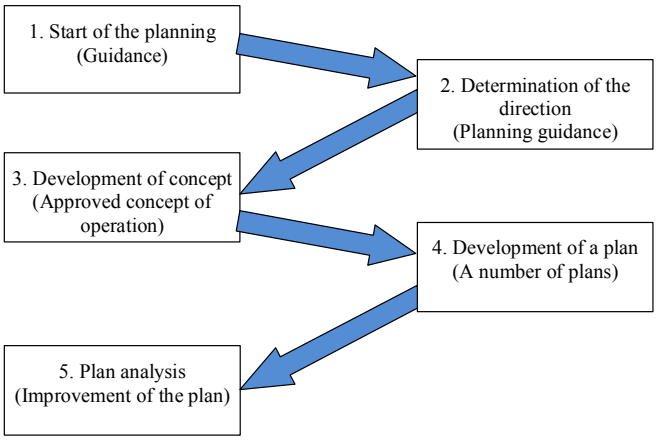


Fig. 2. Operational planning processes

The results of the operational planning include the Joint statement of requirements project, the Area of requirements for the operational area project, and the Crisis assessment project [4].

The CIS is facilitated by the following supporting elements of the operational level plan: the operational assessment of the CIS and the cost calculation, information-sharing requirements and the CIS service matrix.

The planning of the CIS is cyclical and multi-stage.

Planning is carried out continuously, in close synchronization with J2 (intelligence agencies), J3 (operational planning) and J5 (defense planning). The principles of the doctrine of the union joint publication AJP-5 stipulate that the planning of a CIS at each stage is ensured through the following processes: setting aims; unity of purpose; support; force concentration; saving effort; flexibility; security; the simplicity of plans and orders; multinationality.

The planning of an CIS is conducted taking into account the following critical planning factors: time; budget; type and scale of operation; availability of resources; limitation of opportunities; functional compatibility; protection of CIS (including cyber defense); deployable communication and information systems (DCIS) that are relevant to current missions and tasks.

The CIS planning also takes into account the following additional planning factors that are used as the basis for the estimation of the CIS:

– required time for planning, pre-deployment, direct deployment (forces and resources), moving and responding to CONPLANs.

– understanding of information exchange requirements (IERs) and information systems and tools;

– the presence of a functioning or commercial CIS and the ability to respond to an urgent operational need;

– the availability of bandwidths and channels, especially for strategic satellite communications and on national communications networks;

– the ability to use and the ability to control a radio frequency resource;

– the readiness of the personnel required for the deployment, operation and maintenance of the CIS, especially for those assets that have recently been purchased;

– operational readiness and compliance with international standardization of technical protocols;

– the architecture of the systems that will be used (eg centralized or distributed, local or remote, as well as fixed or mobile) [2, 5].

The operational plan development is divided into two clearly defined subphases:

– «subphase A» *Operational CONOPS Development* is intended to define the concept of a *Joint Headquarters* of a NATO-led military campaign that will be conducted with other non-military devices and non-NATO countries to achieve the strategic aims and the desired end-point for NATO. CONOPS is developed in accordance with the operational planning directive.

The result of «subphase A» should be the development of a project concept of the operation, usually a volume of 30 ... 40 pages with constituent annexes:

Together with CONOPS JOPG (Joint Operational Planning Group) reports to the management (strategic level) on the following developed documents:

– integrated multinational capability notice;

– requirements of rules of the force use;

– reporting on the required capabilities to the theater of military actions (TMA is an operational area, geographically designated commander to conduct or support specific military operations);

– capabilities are needed from coalition member states on TMA.

To do this, JOPG compares the aims, which should be achieved and the resources, which are planned to be used. This concerns the capabilities of the operation, the ability to achieve the aims, the likely risks, and the feasibility of moving, deploying and sustainable development. It is always important to consider the importance of each of these factors.

– «subphase B» *Operational OPLAN Development* is designed to develop a plan for the specified military campaign.

The result of «subphase B» is the development and design of the operation plan [4].

The operation plan is based on the main unit of CONOPS, but also includes additions (land, sea, air operations; cyber operations; amphibious operations; communication systems and information systems, etc.).

An operational plan of the operation (OPLAN) is usually the end result of a plan that provides a fairly detailed description of the mission. The forces are assigned, and the necessary preparation is carried out for the successful completion of the mission. The operational plan (OPLAN) can be developed at any command level and formally coordinated and approved by the NATO council.

The operational plan of the operation (OPLAN) consists of a major part and ancillary applications. The CIS information in the operational plan is found in item №5 of the main part of the plan with a description of the detailed architecture in Addition Q "Communication systems and information systems". However, the allied headquarters planning officers in Europe and the joint operations command of the joint gas command (JFC J6) must consider the CIS indicators for each situation, mission, task, and remember that the CIS requirements can be taken into account and in other annexes to the operational plan. Coordination is necessary to ensure that all the requirements of the CIS are met.

Reviewing the plan is the final stage of planning a CIS. This stage usually responds to significant changes in the operational situation and is synchronized with the changes in the lower headquarters (HQ).

The main result of the CIS planning process is the CIS provision plan, which is an integral part of operational planning designed to support risk management planning activities.

The CIS security plan is developed by organizations directly responsible for the provision of CIS, namely the NATO CIS group and the liaison and information agency, in collaboration with operations commanders and subordinate commanders. The plan provides detailed information on how the implementation of the CIS will be implemented at the operational level.

The deputy chief of staff of the allied headquarters in Europe for communications, information systems and cyber defense is responsible (on behalf of the supreme allied commander for Europe) for the overall planning and approval of the CIS plan. In the course of developing an CIS-led plan for the NATO-led operation that provides for the creation of a unified mission network, communication with non-NATO organizations, the NATO communications and information systems group and the communication and information agency represent is a contribution of NATO Command to collective development, reflecting the equal shares of all partners providing network services. The director-general of the communications and information agency is a technical officer and is responsible for creating a technically coherent, stable CIS environment and maintaining an appropriate level of control over the technical aspects of service delivery in the CIS area (including those provided by the NATO CIS group).

All plans have a limited duration due to the possibility of changing the circumstances on which they

are based. The purpose of the plan review phase is to ensure that the plan remains effective and complies with actual requirements, policies and doctrine and is effective in its practical implementation. Changes in the situation or available resources may affect the CIS plan. Therefore, planning officers for the liaison officers of the supreme allied headquarters in Europe should analyze the scope and scale of any changes and make any changes to the CIS.

Each non-NATO unit involved contributes to the operation, making it an important part of the agreed base agreement in the planning of the CIS. Based on the size of the contribution to the mission, the role of the coalition organization and the political arrangements, non-NATO organizations may or may not have the right to request a liaison between the JFC, senior political and military organizations. Non-NATO organizations will provide their input, including the CIS, to the extent specified by the management.

Existing technical and functional compatibility between NATO, NATO countries and non-NATO entities will vary depending on the degree of engagement with NATO and/or NATO countries. Each non-NATO entity that participates in a NATO-led coalition mission will have different capabilities and levels in the CIS area. Organizations may also be allowed to have easy access to the interface, integration with major NATO command and control systems (C2) and CIS involved in NATO headquarters. In some cases, non-NATO organizations may request bilateral support for the CIS and services from NATO, the NATO operation's host country or other mission partner to assist with their mission support tasks [2, 3].

Conclusion

The analysis showed that in order to ensure the effective exercise of the powers of leadership in the command and control system, a high degree of rapid exchange of information, both vertically and horizontally between organizations, is required in accordance with the hierarchy of management structures. In order to achieve effective command and control of troops deployed under NATO (peacetime) operational command, effective and proper information exchange between the liaison forces or the command and control units (headquarters) must be undertaken.

The paper evaluates the basic principles and develops an operational plan based on capabilities in NATO member states. Against this background, the Armed Forces of Ukraine officers should actively master the operational planning process in order to move to NATO standards as soon as possible. As a result, the implementation of NATO standards in the functioning of the Armed Forces of Ukraine is to increase the operational and combat capabilities of the Armed Forces of Ukraine and their interoperability with the armed forces of the leading countries of the world.

The authors` further direction of research should be to justify ways of improving the Armed Forces' communications system planning process and to study NATO documentation and standards in detail with regard to organization and planning of communications in order to clarify the requirements for the Ukrainian military system. This will allow the harmonization (integration) of Ukraine's national development plans with the NATO defense plan.

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
2. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskyi, R.M (2017), “Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication”, *Information Processing Systems*, Vol. 5(151), pp. 16-25, DOI: https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02
3. Romanenko, I. and Shyshatskyi, A (2017), “Analysis of modern condition of military radiocommunication system”, *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-33, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.05
4. *AJP-6: Allied Joint Doctrine for Communication and Information System*, available at : https://www.gov.uk/goverment/uploads/system/uploads/attachment_data/file/200016/20110401-ajp6_cis_secured.pdf
5. *AAP-31: NATO Glossary of Communication and Information Systems Terms and Definitions* (2001), 119 p.
6. *AJP-5: Allied Joint Doctrine for Operational-level Planning* (2013), 299 p.
7. *NATO Glossary of Terms and Definitions: AAP-6* (2018), NATO Standardization Agency, 2018, 2019 p.

Надійшла (received) 08.08.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 30.10.2019

Відомості про авторів / About the Authors

Бігун Наталія Сергіївна – молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна;
Nataliia Bihun – Junior Research of the science-research laboratories, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
e-mail: Bigun0714@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3327-5521

Шишацький Андрій Володимирович – кандидат технічних наук, начальник науково-дослідної лабораторії, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна;
Andrii Shyshatskyi – Candidate of Technical Sciences, Head of the science-research laboratories, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
e-mail: ierikon12@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-6731-6390

Бондар Олексій Петрович – старший офіцер, військова частина А0224, Миколаїв, Україна;
Oleksii Bondar – Senior Officer, Military unit A0224, Mykolaiv, Ukraine;
e-mail: phoenix791981@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-5658-1495

Богрєєв Сергій Леонідович – начальник відділу, військова частина А0172, Київ, Україна;
Sergii Bogrieiev – Chief of Department, Military unit A0172, Kyiv, Ukraine;
e-mail: bohreyevphoenix791981@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-9298-4304

Налапко Олексій Леонідович – ад'юнкт, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна;
Oleksii Nalapko – Doctoral Student, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
e-mail: aln.uax@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-3515-2026

Сова Олег Ярославович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна;
Oleg Sova – Doctor of Technical Sciences, Senior Research, Head of the Department, Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine;
e-mail: soy_135@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-7200-8955

Троцько Олександр Олександрович – старший викладач кафедри, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна;
Oleksandr Trotsko – Senior Instructor, Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine;
e-mail: s.trockiy@gmail.com; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7535-5023

Аналіз особливостей організації зв'язку в країнах НАТО

Н. С. Бігун, А. В. Шишацький, О. П. Бондар, С. Л. Богрєєв, О. Я. Сова, О. О. Троцько, О. Л. Налапко

Анотація. Відповідно до Воєнної доктрини України, одним з центральних завдань вважається реформування Збройних Сил України для досягнення оперативної та технічної сумісності зі збройними силами країн-членів НАТО, а ще дотримання прийнятих в державах-членах ЄС та НАТО стандартів роботи, розподілу функцій і основних завдань. Сьогодні існує потреба у вдосконаленні системи зв'язку між органами управління в системі управління військами. Проте низькі темпи впровадження стандартів НАТО значно стримують цей процес. Однією з причин цього є недостатнє приділення уваги до адаптації системи оперативного планування Збройних Сил України до аналогічних систем, які використовуються в країнах-членах НАТО. У статті проведено аналіз основних принципів організації зв'язку та розглянуто основні етапи з розробки оперативного плану на основі спроможностей країн-членів НАТО. Оскільки, планування зв'язку є однією з основних частин планування операцій в НАТО, автори зазначеної статті провели аналіз оперативного процедур планування системи зв'язку та інформатизації беручи до уваги необхідність наближення систем управління Збройних Сил України до стандартів НАТО. В ході проведеного авторами дослідження розглянуто, основні етапи, які охоплює планування системи зв'язку, визначено чинники, що впливають на процес її планування. Отже, перспективним напрямком подальших наукових досліджень авторів слід вважати обґрунтування шляхів удосконалення процесу планування системи зв'язку Збройних Сил України та детальному вивченню документації та стандартів НАТО, в частині, що стосується організації та планування зв'язку, з метою пояснення вимог до системи управління військами в Україні. Це дасть можливість гармонізації (інтегрування) власних національних планів розвитку Збройних Сил України з планом оборони НАТО.

Ключові слова: стандарти; спроможності; НАТО; Збройні Сили України; система зв'язку; оперативне планування; процес.

Анализ особенностей организации связи в странах НАТО

Н. С. Бигун, А. В. Шишацкий, А. П. Бондарь, С. Л. Богреев, О. Я. Сова, А. А. Троцко, А. Л. Налапко

Аннотация. Согласно Военной доктрины Украины одной из центральных задач считается реформирования Вооруженных Сил Украины для достижения оперативной и технической совместимости с вооруженными силами стран-членов НАТО, а также соблюдения принятых в государствах-членах ЕС и НАТО стандартов работы, распределения функций и основных задач. Сегодня существует потребность в совершенствовании системы связи между органами управления в системе управления войсками. Однако низкие темпы внедрения стандартов НАТО значительно сдерживают этот процесс. Одной из причин этого является недостаточное внимание к адаптации системы оперативного планирования Вооруженных Сил Украины в аналогичные системы, используемые в странах-членах НАТО. В статье проведен анализ основных принципов организации связи и рассмотрены основные этапы по разработке оперативного плана на основе возможностей стран-членов НАТО. Поскольку, планирование связи является одной из основных частей планирования операций в НАТО, авторы указанной статьи провели анализ оперативных процедур планирования системы связи и информатизации, принимая во внимание необходимость приближения систем управления Вооруженных Сил Украины к стандартам НАТО. В ходе проведенного авторами исследования рассмотрены основные этапы, которые охватывает планирование системы связи, определены факторы, влияющие на процесс ее планирования. Итак, перспективным направлением дальнейших научных исследований авторов следует считать обоснование путей совершенствования процесса планирования системы связи Вооруженных Сил Украины, детальное изучению документации и стандартов НАТО, в части, касающейся организации и планирования связи, с целью объяснения требований к системе управления войсками в Украине. Это даст возможность гармонизации (интегрирования) собственных национальных планов развития Вооруженных Сил Украины плану обороны НАТО.

Ключевые слова: стандарты; способности; НАТО; Вооруженные Силы Украины; система связи; оперативное планирование; процесс.

UDC 621.391 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.06**

R. Zhyvotovskyi[1], O. Momit[2], Ya. Onbinskyi[3], A. Lyashenko[4]

[1] Central research institute of weapons and military equipment of armed forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[2] Military unit A 2393, Odessa, Ukraine
[3] General Directorate of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine
[4] Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF THE KNOWN METHODS OF CHANNELS COMMUNICATION CONTROL WITH THE INTERFERENCE AND SELECTIVE FADING

Abstract. Designing adaptive radio systems, depending on their purpose, solves the problem of optimizing one of the performance indicators with restrictions on others. In turn, the development and implementation of adaptive information sharing techniques require the establishment of effective procedures for monitoring and predicting the status of communication channels and the quality of information transmission. Given the rapid development of electronic warfare facilities, the expansion of the list of interferences that can be created by these complexes, it is great relevance for further scientific research on the creation of new methods of monitoring the status of the communication channel. In this research, the authors analyzed the characteristics of the main methods for assessing the status of communication channels. In the course of the analysis, the authors used general scientific methods of analysis and synthesis, the basic provisions of communication theory, data transfer theory, space-time coding theory, noise immunity theory, signal-code theory, etc. The authors of the article analysis of the known methods of estimating the state of the channel of multi-antenna communication systems showed that the known scientific articles do not contain the following: parallel estimation of the status of the channel by several indicators; obtaining a generalized channel status assessment; continuous evaluation of several characteristics in real-time; at the same time evaluate both the lines down and the lines up; the combination of the impulse response of the channel state, the frequency response of the channel status, and the bit error probability is not used for the estimation. It is established that at present there is no universal method of monitoring the status of channels of multi-antenna radio communication systems, which would give an accurate, fast estimate of the status of the channel in real-time, which would allow effective adaptation in a channel with non-stationary parameters.

Keywords: signal-to-noise ratio; data rate; bit error probability; space-time processing; MIMO system; parallel channels.

Introduction

MIMO (Multiple Input Multiple Output) has found practical application in many modern telecommunications systems. MIMO is used in IEEE 802.11n wireless LANs, as well as WIMAX and LTE wireless networks, etc. [1–5].

The essence of MIMO technology is similar to the method of diversity reception, when several uncorrelated copies of the signal are created on the receiving side due to the spacing of the antennas in space, by polarization, the diversity of the signals in frequency or in time.

In MIMO radio systems, spatial multiplexing is implemented: a data stream in the transmission is splitted into two or more sub-streams, each transmitted and received by different antennas [1-10].

The noise immunity of multi-antenna radio systems is affected by deliberate interference and signal fading that occur during multipath propagation. In order to ensure stable radio communication under active electronic suppression and selective fading, the radio system must have signal and interference information in the channel.

The development of devices of electronic warfare, the imperfection of known methods (techniques) for assessing the status of channels in MIMO systems necessitates the search for new scientific approaches to increase the immunity of MIMO systems to the required level.

In order to reduce the time of adaptation of the radio communication equipment in the conditions of the influence of electronic warfare, it is necessary to reduce the time for the assessment of the condition of the channel, while maintaining the necessary reliability. Also, it is necessary to develop new methods for assessing the status of the channel.

All this confirms the relevance of the chosen research direction.

While designing adaptive radio systems, depending on their purpose, solves the problem of optimizing one of the performance indicators with restrictions on others. In turn, the development and implementation of adaptive information sharing techniques require the establishment of effective procedures for monitoring and predicting the status of communication channels and the quality of information transmission. In order to solve this problem, it is necessary to involve methods of modern mathematical statistics, in particular, to test the statistical hypotheses regarding the parameter (parameter group) that characterizes the state of the communication channel.

The purpose of this article is to conduct an analysis of known channel monitoring techniques for multi-antenna systems for intentional interference and selective fading.

Presentation of main material research

Different types of control can be classified by purpose, time of connection of control devices, method of receiving and source of information, a form of presentation of initial information, relation to the process of information transfer, method of implementation of procedures [9].

On target features distinguish the control:

warning, which is performed to determine the characteristics of various disturbing factors (channel

error rate, failure rate of equipment), necessary for the development of efficient algorithms for exchange and resource management, is characterized by the presence of a large number of control equipment and is available on free channels allocated for research on long hours (hundreds and thousands of hours);

functional, which is performed to determine the degree of compliance of the partial parameters of the channels and all equipment to the set standards and to regulate the equipment in case of non-compliance. Functionally monitored channels are not used to transmit information during the entire control period, which lasts from ten minutes to several hours;

operational, which is organized to accurately assess the current status and interference situation in channels and paths engaged in the transmission, as well as to evaluate the quality of transmission over time, compared to the duration of the exchange cycle. The control is necessary for the prompt check of the readiness of the equipment and organization of the operational management of system resources for the purpose of adaptation to changes of the operating conditions, differs in the variety of forms of gathering and submission of information, depending on the type of controlled equipment (quality indicator) and the criterion on the basis of which the choice is made.

Connection time distinguishes the control:

continuous, at which the control devices are constantly connected to the controlled equipment;

periodic, which is used when a single control device is used to determine the status of several functional devices. The most characteristic of preventive and functional control.

The following types of controls can be distinguished by the method of obtaining and the source of information:

test is a certain sequence of characters is fed to the input of the equipment (channel, track) and the internal condition and interference situation are evaluated by their acceptance (usually used to check the performance of the whole system of transmitting discrete information at the beginning of its operation and when there are "pauses" in information exchange) ;

indirect is a source of information is a distortion of signal parameters, streams of decisions of all kinds of quality detectors, the first decisive scheme for acceptance with erasures;

code is a source of information is the sequence of decisions of the decoder of the second decisive circuit;

direct measurement is an individual equipment parameters, noise levels, signal-to-noise ratios, etc. can be directly measured by special devices; It is widely used in functional control and in radio systems with frequency adaptation.

Indirect and code-based methods are used mainly in operational control.

The main forms of output for radio communication systems (RCS) are an evaluation of system function; values of the quality criterion, estimation of parameters of the distribution of errors, interferences; evaluation of noise distribution functions; a conclusion on working capacity; The „coordinates” of the failing elements and devices. The necessary form of initial information is determined by the purpose of control and provided by the selected mathematical apparatus.

Dynamic quality control of radio channels is required to implement the adaptive principle of RCS parameters and resources management [5, 10, 12]. Operational control is organized to improve the reliability of the assessment of the current status and interference situation in the channels and transmission paths, as well as to evaluate the quality of transmission over time comparable to the duration of the information exchange cycle.

There are two main ways to control the status of a radio channel at this time. The first involves estimating the channel status based on control of the primary signal and interference parameters: amplitude, smoothed amplitude (level), duration, a ratio of amplitudes or signal and interference levels, and the like. The second method is based on obtaining an estimate by analyzing the secondary parameters: the frequency of errors in the reception of the message symbols, the number of requests in systems with decisive feedback, different code features, etc. The classification of the statistical characteristics of the communication channels is shown in Fig. 1.

Because the secondary parameters are less informative, some time spending are required to obtain sufficient estimation accuracy, which cannot be taken into account only if the channel state is slow enough to change the message rate. Primary characteristics mainly reflect the causes of signal distortion, instability of carrier generators, phase jumping and jitter, fading and changes of residual attenuation, fluctuation noises, impulse and harmonic interference, interruptions and nonlinear distortions. The non-ideality of the frequency and amplitude characteristics arises due to the regular distortion of only regular signals. While transmitting random (information) sequences, distortions are stochastic because their magnitude depends on the type (shape) of the signal.

The characteristics of the signal at the output of the decoder are called secondary. They reflect the degree of distortion of single elements and include boundary distortions, crushes, and mass distortions. The most complete characteristic of the quality of a discrete channel is the statistics of errors that occur while transmitting information.

For modern military radio systems, the first way to control the status of radio channels is definitely more effective.

The main requirements for such control are the high accuracy and efficiency of the analysis, as well as a fairly simple implementation of computing processes on electronic computers.

In this case, the calculation of the corresponding estimated values can occur either by devices of special measuring signals or directly in the process of transmitting operational information [10, 12].

All estimation methods, which are used today in radio communication systems can be divided into 4 groups according to the following scheme shown in Fig. 2.

Let's look at these methods in more details.

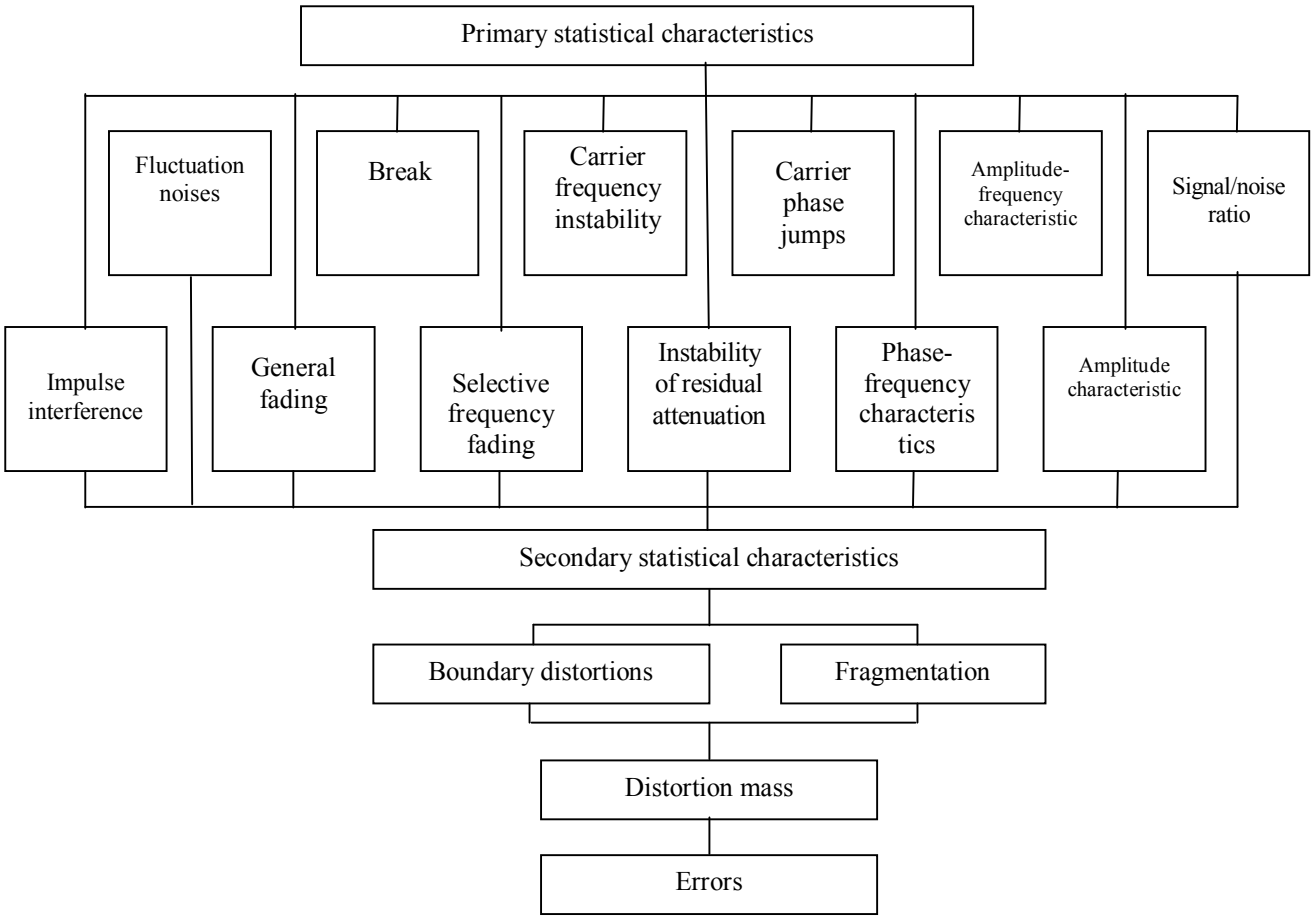


Fig. 1. Communication channel statistics

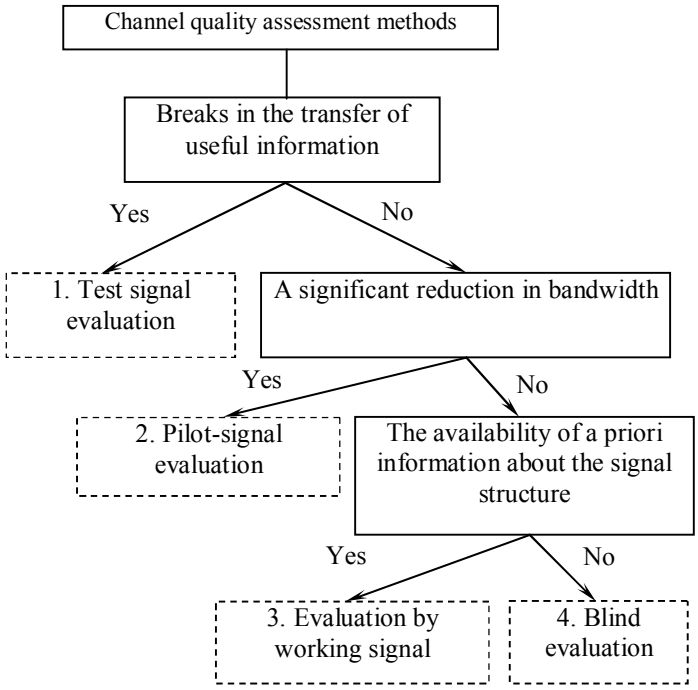


Fig. 2. Classification of channel quality assessment methods

1. One of the least critical to the computational complexity of algorithms is a method based on the periodic transmission of test signals of a known structure or probing pulses. The essence of the method

is that at the same intervals, the transmitter generates at its output special test signals (pseudorandom sequence (PRS)), which, passing through the communication channel, arrive at the input of the receiving equipment and then to the evaluation scheme, which by implication comparison of the parameters of the received test signal with the parameters of the reference signal produced by its own generator, estimates the state of the channel as a whole. The distortion and interference occurring in the communication channel change the level of the test signal, which allows to determine the signal/interference ratio in the channel, and the measurement of the offset of the boundaries of the bit intervals PRS allows to conclude the magnitude of the time delay of the signal.

The disadvantage of this method is that at the time of transmission of the test sequence, the transfer of useful information, which reduces the speed of information transmission. The transmission time of the test sequence is also increased by performing the procedure of synchronization of the receiving and transmitting paths. In addition, the evaluation of the test signal provides information only at the time of its passage through the communication channel, which is reflected in the timeliness of the received evaluation, because during the assessment of the condition of the channel propagation conditions in a multipath radio channel can change dramatically and a good quality channel may be completely unsuitable for transmitting information .

2. The use of a transmitted message in pilots located at strictly defined time positions and with some fixed parameters, allows the receiving equipment to distinguish them from the composition of the received message against the background of noise and to analyze the parameters of the pilot tones communication channel as a whole. Fixing and evaluating the reception of the one after the other as part of the pilot's signal allows us to characterize the frequency and time delays in the channel by analyzing the offset of the clock limits, which ultimately gives information about the quality of the communication channel.

While changing the parameters of the pilot signals (position in the structure of the signal, the type of modulation, its multiplicity, the signal level) allows to obtain information about the status of the channel in the conditions of concentrated noise interference by moving the pilot tones to temporal positions free from the influence of interfering noise. At the same time, the frequency of receipt of pilots and the fixation of their time positions serves to perform the synchronization procedure.

In addition, the transmission of pilot signals allows timely determination of the conditions of propagation of changing signals, on the basis of which the adaptation scheme can adjust the transmission parameters in order to achieve the desired level of confidence. However, since the pilot tones are contained in each frame of the transmitted message, together with their useful properties, they reduce the bandwidth of the communication system. Due to the ease of isolation and estimation of the parameters of the pilot tones, this method has a rather low computational complexity, and their transmission in the composition of the information signal provides the efficiency of estimation of the quality of the channel.

3. While using the methods of estimating the quality of the channel on the working signal to assess the status of the channel at the reception implement the input information signal, adopted in the conditions of action of various interferences and prone to distortion.

This type of evaluation requires a priori knowledge of the recipient of some information about the transmitted signal, such as the type and frequency of modulation, the value of the length of the loop prefix, etc.

The type and multiplicity of modulation determines the type of signal constellation used to represent the signal, which at the reception makes it possible to measure the dispersion of the points of the phase plane corresponding to the transmitted information symbols, and, given some critical values of this scattering, we can conclude the quality of the communication channel .

Knowledge of the length of the cyclic prefix allows you to determine the offset of the boundaries of the characters of the protective interval, which allows you to estimate the time and frequency delay signal. The algorithm for doing signal estimation allows to receive a timely and prompt estimation of channel quality. One of the main advantages of this method of assessment is that it does not affect the transmission capacity of the transmission system in a timely and prompt receipt of the assessment, which in today's conditions of development of high-speed services becomes very relevant.

4. Blind evaluation refers to the evaluation of unknown signals that have passed a linear channel with unknown characteristics against the background of interference [9]. In this case, the estimation of the signal parameters is conducted only on the available implementations of the input signal of the receiving device.

There is a huge variety of channel blind estimation methods, the use of which is based on the application of statistical blind identification methods and various mathematical methods, which requires a large computational cost to accumulate and process a statistically significant number of implementations. Due to the need for prior accumulation of data to analyze the quality of the channel, this algorithm has rather low efficiency and timeliness of the evaluation. In the general case, in the case of a blind evaluation, only an approximate solution of the best in terms of some quality criterion can be obtained. The undoubted advantage of the blind estimation algorithm is that the channel estimation is conducted without the use of methods that reduce the transmission capacity of the transmission system.

While using different methods of signal quality assessment in adaptive communication systems, it is possible to transmit the received information about the status of the communication channel on the dedicated service channel to the transmitter, which on the basis of these data can change the parameters of the transmitted

signal, thereby providing the optimum for specific conditions spreading noise immunity. However, organizing a counter feedback channel requires a transmission system bandwidth, which is a negative factor.

The advantages and disadvantages of these methods are summarized in Table 1.

Thus, the following conclusions can be drawn from known methods of assessing the status of a communication channel.

Table 1 – **Comparative characteristics of channel status estimation methods**

Characteristic of the method	Test sequence	Pilot signals	By working signal	Blind evaluation
Computational complexity	low	low	середня	high
Effectiveness of assessment	low	high	high	medium
Timeliness of evaluation	low	high	high	medium
Impact on bandwidth	break in transmission	decrease	a slight decrease	no impact

1. While designing adaptive radio systems, the channel signal quality estimation method should be used because it does not reduce the bandwidth of the radio system and provides prompt and timely acquisition of channel status information at acceptable computational costs.

2. While establishing a link or restoring it after a forced break, when the transmission of useful information with given reliability is not possible in principle, the method of using a test sequence implemented on the basis of a simple but low-speed implementation scheme should be used to evaluate the quality of the channel.

3. After establishing communication or improving channel quality in the course of transmitting operational information to obtain timely and operational estimates of acceptable quality due to some system bandwidth costs and using a simple and high-speed estimation scheme, a pilot method may be used, the number of which may be reduced as the channel quality improves.

4. In the high-quality channel conditions, it is possible to switch to blind channel quality estimation using a sophisticated and non-operational implementation scheme.

However, in these circumstances, due to the complete rejection of the bandwidth consumption of the system to study the channel characteristics, the system performance on the bandwidth indicator will be the highest. It is also possible to share methods using the RTSE, such as working and pilot signal estimation methods. In this case, several pilot signals are introduced into the signal structure, which does not significantly influence the bandwidth, but allow to clarify the estimates obtained by the working signal estimation method, and, in addition, to reduce the impact of the pilots in the signal structure focused channel quality interference. It is also possible to use combined channel quality estimation methods while using the working signal estimation method as a reference, a test signal is transmitted in the absence of useful information to the communication channel to clarify the characteristics of the signal propagation environment.

A feature of a multipath channel is its non-stationarity due to the presence in the channel of constant changes in the conditions of signal propagation, which leads to distortions of the transmitted signal. In addition to distortions due to the special nature of the propagation of radio waves, the transmitted signal may be affected by deliberate and accidental interference.

One of the most important prerequisites for designing adaptive systems is the need for real-time channel estimation (RTCE) quality. The data obtained during the RTCE procedure can be used to perform adaptation procedures, so a process related to the automatic change of operating parameters and/or system configuration in response to changes in the timing of signal propagation in the channel and the intensity of external noise and interference. Performing the adaptation procedure ensures the best quality of the received radio signal under the specified propagation conditions. Timely and accurate assessment of the quality of the channel allows us to adapt the signals to the changing conditions of distribution and interference with the channel and, accordingly, to maintain the quality of service at the proper level.

In the process of data transmission by radio channels, the main sources of error in the received messages are signal distortions caused by the influence of the conditions of propagation of radio waves, such as fading and multipath, as well as the effect on this background of narrow-band or spectrum-focused interference.

Solving the problem of detecting and estimating intentional interference in the channel requires strict determination of the use of detection methods and simultaneous estimation of the signal with unknown parameters. For adaptation purposes, it is the first and foremost necessary to identify strong interferences and evaluate their impact on the accuracy of the received information.

In the work [10] it is shown that in the channels with slow fading, abrupt changes in the levels of the received signal at the output of the frequency channel of the demodulator affected by the spectrum-focused interference is a sign of identification of this frequency channel as affected by the amplitude-modulated interference.

The method of statistical estimation, which uses the threshold of the control channel voltage to make decisions about the presence of a demodulator error, ensures the adequacy of the generated estimates in the interference environment. The control channel voltage threshold corresponds to the calculated error probability.

Simultaneously obtaining estimates of the quality of the channel and the concentrated interference during a single computing procedure, which is performed while demodulating the received signal, saves the total computational resource of the processor.

Conclusions

The authors analyzed the methods of monitoring the status of channels of multi-antenna communication systems.

Therefore, an analysis of known methods of assessing the condition of the channel of the MIMO system showed that in these works there is no:

– parallel evaluation of the status of the channel on several indicators;

– getting a generalized channel status estimate;

– continuous evaluation of several characteristics in real-time;

– at the same time evaluate the lines down and the lines up;

– the combination of the impulse response of the channel state, the frequency response of the channel status, and the bit error probability is not used for the estimation [1-14].

It is established that at present there is no universal method of monitoring the status of channels of multi-antenna radio communication systems, which would give an accurate, fast estimate of the status of the channel in real-time, which would allow effective adaptation in a channel with non-stationary parameters.

The direction of further research should be the development of a method for estimating the status of a multi-antenna radio communication channel in the conditions of electronic counteraction.

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 October 22, 2019).
2. Vishnevskiy, V. M., Lyahov, A. I., Portnoy, S. L. and Shahnovich I. V (2005), *Broadband wireless communication networks,* Moscow.: Technosphere, 592 p.
3. Volkov, L.N., Nemirovkiy, 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 October 22, 2019).
6. Kalantaievska, S., Pievtsov, H., Kuvshynov, O., Shyshatskyi, A., Yarosh, S., Gatsenko, S., Zubrytskyi, H., Zhyvotovskyi, R., Petruk, S. and Zuiko, V(2018). "Method of integral estimation of channel state in the multiantenna radio communication systems". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies,* Vol 5, No. 9 (95): pp 60–76. DOI: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.144085.
7. Ehab M. Shaheen, 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, 2013. 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 October 22, 2019).
9. Bessai H. (2005), *MIMO Signals and Systems*, USA, NY: Springer science and Business Media, 206 p.
10. 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*. – Publ. No 3, Kyiv.: MIKNU, pp. 51 – 56.
11. Romanenko, I. and Shyshatskyi, A (2017), "Analysis of modern condition of military radiocommunication system", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 28-33, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.1.05
12. Zhuk, O.G., Shyshatskiy, A.V., Zhuk, P.V. and Zhyvotovskyi, R.M. (2017), "Methodological substances of management of the radio-resource managing systems of military radio communication", *Information Processing Systems*, Vol. 5(151), pp. 16–25, DOI: https://doi.org/10.30748/soi.2017.151.02.
13. Zhyvotovskyi, R.M., Shyshatskyi, A.V.and Petruk, S.N (2017). "Structural-semantic model of communication channel". *4th International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PICS&T-2017). 10-13 October 2017*. Kharkiv, Ukraine. P. 524 – 529. DOI: http://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2017.8246454.
14. Petruk, S.N., Zhyvotovskyi, R.M. and Shyshatskyi, A.V(2018). "Mathematical Model of MIMO". *5th International Scientific-Practical Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PICS&T-2018)*. 9-12 October 2018. Kharkiv, Ukraine. pp. 7 – 12. DOI: http://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632163.

Received 25.10.2019
Accepted for publication 21.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Животовський Руслан Миколайович – кандидат технічних наук, старший дослідник, начальник науково-дослідного відділу, Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Київ, Україна;
Ruslan Zhyvotovskyi – Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Chief of Scientific Research Department, Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of Armed Forces of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
e-mail: Ruslan_zhyv@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-2717-0603

Моміт Олександр Сергійович – начальник відділу, військова частина А2393, Одеса, Україна;
Alexander Momit – Head of Department, Military unit A 2393, Odessa, Ukraine;
e-mail: momit_sasha@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8901-7006

Онбінський Ярослав Олександрович – начальник служби Головне управління Національної гвардії України, Київ, Україна;
Yaroslav Onbinskyi – Head of Department, General Directorate of the National Guard of Ukraine, Kyiv, Ukraine;
e-mail i.yakhno@ngu.gov.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1009-3709

Ляшенко Ганна Тарасівна – науковий співробітник науково-дослідного відділу, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна;
Anna Lyashenko – Research Associate, Military institute of telecommunications and informatization named after Heroes of Kruty, Kyiv, Ukraine;
e-mail: Anutka-2-0-0-8@ukr.net; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5318-8663

Аналіз відомих методів контролю стану каналів систем зв'язку з навмисними завадами та селективними завмираннями

Р. М. Животовський, О. С. Моміт, Я. О. Онбінський, Г. Т. Ляшенко

Анотація. При проектуванні адаптивних систем радіозв'язку залежно від їх призначення вирішується завдання оптимізації одного з показників ефективності при встановлених обмеженнях на інші. В свою чергу, розробка і впровадження адаптивних методів інформаційного обміну вимагають створення ефективних процедур контролю та прогнозування стану каналів зв'язку і якості передачі інформації. Враховуючи бурхливий розвиток засобів радіоелектронної боротьби, розширення переліку завад, що можуть бути створені зазначеними комплексами, набувають великої актуальності подальші наукові дослідження з питання створення нових методів контролю стану каналу зв'язку. В зазначеному дослідженні авторами був проведений аналіз характеристик основних методів оцінки стану каналів зв'язку. В ході зазначеного аналізу авторами були використані загальнонаукові методи: аналіз та синтез, основні положення теорії зв'язку, теорії передачі даних, теорії просторово-часового кодування, теорії завадостійкості, теорії сигнально-кодових конструкцій та інші. Проведений авторами статті аналіз відомих методів оцінювання стану каналу багатоантенних систем зв'язку показав, що в відомих наукових працях відсутнє наступне: паралельна оцінка стану каналу за декількома показниками; отримання узагальненої оцінки стану каналу; постійне оцінювання декількох характеристик в режимі реального часу; одночасне оцінювання як лінії вниз, так і лінії вгору; для оцінки не використовується поєднання імпульсної характеристики стану каналу, частотної характеристики стану каналу та ймовірності бітової помилки. Встановлено те, що на даний момент не існує універсального методу контролю стану каналів багатоантенних систем радіозв'язку, котрий б давав точну, швидку оцінку стану каналу в реальному часі, мав би можливість ефективної адаптації в каналі з нестаціонарними параметрами.

Ключові слова: відношення сигнал/шум; швидкість передачі інформації; ймовірність бітової помилки; просторово-часова обробка; система MIMO; паралельні канали.

Анализ известных методов контроля состояния каналов систем святи с преднамеренными помехами и селективными замираниями

Р. Н. Животовский, А. С. Момит, Я. А. Онбинский, А. Т. Ляшенко

Аннотация. При проектировании адаптивных систем радиосвязи в зависимости от их назначения решается задача оптимизации одного из показателей эффективности при установленных ограничениях на другие. В свою очередь, разработка и внедрение адаптивных методов информационного обмена требует создания эффективных процедур контроля и прогнозирования состояния каналов связи и качества передачи информации. Учитывая бурное развитие средств радиоэлектронной борьбы, расширения перечня помех, которые могут быть созданы указанными комплексами, приобретают большую актуальность дальнейшие научные исследования в вопросе создания новых методов контроля состояния канала связи. В указанном исследовании авторами был проведен анализ характеристик основных методов оценки состояния каналов связи. В ходе указанного анализа авторами были использованы общенаучные методы: анализ и синтез, основные положения теории связи, теории передачи данных, теории пространственно-временного кодирования, теории помехоустойчивости, теории сигнально-кодовых конструкций и др. Проведенный авторами статьи анализ известных методов оценки состояния канала многоантенных систем связи показал, что в известных научных трудах отсутствует следующее: параллельная оценка состояния канала по нескольким показателям; получение обобщенной оценки состояния канала; постоянное оценивание нескольких характеристик в режиме реального времени; одновременная оценка как линии вниз, так и линии вверх; для оценки не используется сочетание импульсной характеристики состояния канала, частотной характеристики состояния канала и вероятности битовой ошибки. Установлено, что на данный момент не существует универсального метода контроля состояния каналов многоантенных систем радиосвязи, который бы давал точную, быструю оценку состояния канала в реальном времени, имел бы возможность эффективной адаптации в канале с нестационарными параметрами.

Ключевые слова: отношение сигнал/шум; скорость передачи информации; вероятность битовой ошибки; пространственно-временная обработка; система MIMO; параллельные каналы.

UDC 621.43 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.07**

I. Kovalev[1], V. Bazelyuk[1], O. Isakov[1], I. Kalinin[1], O. Shapoval[2]

[1] Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkiv, Ukraine
[2] National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

JUSTIFICATION OF MAINTENANCE PARAMETERS OF A WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT SAMPLE WITH REGARD TO STRUCTURE, TIME-BASED REDUNDANCY AND LEVELS OF HEALTH

Abstract. The **subject matter** of the article is the maintenance of armored weapons and military equipment samples used for their intended purpose. The **goal** of the study is to justify the optimal values of service parameters. The **tasks** to be solved are: to develop a mathematical model of the functioning process of the weapons and military equipment sample subsystems with periodic maintenance taking into account its structure, time redundancy and levels of performance; to cary out composition of the weapons and military equipment sample into separate subsystems to justify the choice of the most appropriate maintenance strategy for each of them, to determine the optimal maintenance strategy taking into account the operating conditions, units and units involved. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used. The following **results** are obtained: It is proposed to determine the optimal values of maintenance periodicity for individual subsystems of the sample of weapons and military equipment, taking into account the reserves of time and features of operation, as well as combining the operations of maintenance of individual subsystems into a single set of works for the sample as a whole based on the representation of the process of operation of the subsystem of the subsystem of the subsystem as a mathematical model of a random semi-Markov process. **Conclusions.** An analysis of the existing maintenance and repair strategies has shown their single-handedly inefficient in the weapons and military equipment sample operating. The example of the T-64B shows that to put troops into practice, a proper justification and a complex combination of existing strategies is required, ie the creation of a new mixed strategy and efficient use of equipment. It is proposed to decompose the weapons and military equipment sample into separate functionally completed subsystems, justifying the choice of the most appropriate maintenance strategies for them (with periodic or maintenance status), determining for each subsystem the optimal strategy and accordingly the periodicity of maintenance taking into account the time reserves and operation features, as well as separate subsystems into a single set of weapons and military equipment sample works for the sample as a whole. Optimal values of maintenance periodicity and coefficient of technical use are obtained by means of a mathematical model of the process of functioning of the T-64B subsystems with periodic maintenance in the form of a random semi-Markov process. The results of the calculations show that for such tank subsystems as power plant, transmission and undercarriage, electrics, it is advisable to choose a maintenance strategy with periodic maintenance, and for a fire control and air purification system maintenance as a condition. The results obtained can be used in the future to develop suggestions for improving the equipment used to diagnose the technical condition of the weapons and military equipment sample. Improvement of the equipment used in the weapons and military equipment maintenance and repair will significantly increase the depth and quality of determining the technical condition of the objects, and therefore the correctness and efficiency of maintenance.

Keywords: maintenance and repair; coefficient of technical use; graph of states; semi-Markov process; time direct technical maintenance.

Introduction

Formulation of the problem and research tasks. In units of law enforcement agencies special attention is paid to maintaining an adequate level of technical condition of weapons and military equipment (WME) with the requirement of constant readiness for its intended use.

Analyzing the experience of carrying out maintenance work (MW) on the joint operation forces, it can be stated that due to the insufficient level of logistical support, low completeness of mobile maintenance and repair (R) equipment, outdated technological equipment and low professional training of personnel composition, the technique was carried out a minimum amount of work on the envisaged list of MW-1 and MW-2 [1, 2]. The existing WME maintenance system requires significant improvements, is outdated, and has drawbacks that lead to excessive time and material resources, significant down time for maintenance equipment, and underutilization [3].

Analysis of recent research and publications. The analysis of the existing maintenance system has shown its inefficiency in the current conditions and revealed a number of disadvantages that do not allow to provide in full the required level of reliability of technology.

The main disadvantages of the existing maintenance system can be considered as: insufficiently substantiated MW values of the parameters of the service process – the frequency of carrying out and the volume of maintenance works, which in their majority are overstated and do not satisfy the requirements of their minimum need to maintain a given level of technical condition of the WME; strategies and types of maintenance are the only ones for different purpose vehicles, despite the different mechanisms of deterioration of their technical condition; there are no operations performed according to the technical condition; in the organization of technical complex technical systems do not fully take into account the specific features and factors that affect the reliability of the sample equipment; does not take into account the structure of the WME sample, which leads to the suboptimal and inconsistent modes of maintenance of different functionally related subsystems of one sample

of equipment; low efficiency of prevention with a large number of types of maintenance and volume of mandatory operations; the allowable time for the maintenance and restoration of the facility is not fully taken into account [4].

Existing mathematical models and methods of organization of the technical specimens of the WME do not take into account the time reserve provided by the organization of the use of the WME samples by purpose, the structure of the samples, the possibility of servicing them according to the technical condition.

One of the areas of improvement of the existing system of technical maintenance may be the scientific substantiation of the parameters of servicing of the WME samples, taking into account their structure, time redundancy and levels of efficiency [5-7].

The goal of the article is to justify the optimal values of service parameters. To achieve this goal, we propose to solve the following **tasks of researching**: to develop a mathematical model of the functioning process of the WME sample subsystems with periodic maintenance taking into account its structure, time redundancy and levels of performance; to cary out composition of the WME sample into separate subsystems to justify the choice of the most appropriate maintenance strategy for each of them, to determine the optimal maintenance strategy taking into account the operating conditions, units and units involved.

Main material

It is proposed to decompose the WME sample into separate functionally completed subsystems and to determine for each subsystem the optimal MW periodicity values, based on an analysis of the values of the K_{tu} technical use factor, which takes into account simple objects related to the maintenance and restoration of the MW. K_{tu} is proposed to be used as objective functions, the differentiation of which at a certain interval of operation [0, T] will determine the local extremum will correspond to the optimal value of the periodicity of control of the technical condition and MW of each subsystem. The coefficient of technical use will mean the ratio of the mathematical expectation of the total stay of the object in working condition for a certain period of operation to the mathematical expectation of the total time of stay of the object in working condition and downtime caused by maintenance and repair for the same period [8].

$$K_{tu} = \frac{T_w}{T_w + T_r + T_m}, \qquad (1)$$

here T_w – the time of being sample in working condition; T_r – the time of being sample in repair; T_m – the time of being the sample in the planned and unscheduled maintenance work.

Input data for analytical calculations. The sample T-64B was selected as the object of consideration, and it provided a periodic maintenance strategy.

This facility performs scheduled maintenance with a frequency of T (non-random variable) and unscheduled (ongoing) repairs.

The input data for the calculations are: the working time tn of the object to failure or to the MW with the known (given) distribution function F(t); duration of maintenance and recovery – random variables t_m and tb with arbitrary distribution functions $\Phi(t) = P\{t_m < t\}$ and $F_{rc}(t) = P\{t_{rc} < t\}$ respectively; admissible time of maintenance of (t_{a1}) and recovery (t_a) are non-random variables.

The search for distribution functions was carried out by statistical processing of expert survey data and the data of controlled operation of samples of WME with the following assumptions and limitations:

– failures occurring in the subsystem of the sample of technology are manifested instantly;

– after the restoration work is completed, the initial properties of the object are completely restored and

$$\overline{t_{cr}} + 3\delta_{rc} > \bar{t}_{mw} - 3\delta_{mw};$$

– the study examines the lifetime before major overhaul (MO).

The average number of services per cycle of operation to the MO and the time to conduct maintenance are given in Table 1 [8].

Table 1 – **Quantity and time of maintenance of the sample of the WME for the cycle of operation**

№	Kind of maintenance	Average of services per operation cycle to the MO, p	MR time, hours
1	CheckUp (Ch)	2980	0,5
2	Daily techno (D)	896	4
3	MW-1	8	7,6
4	MW-2	4	14
5	Seasonal Service (SS)	19	48
6	Other types of regulated maintenance	3	216
7	Current repair (CR)	13	16
8	Medium repair(MR)	1	141

According to the analysis of statistical data, analytical calculations and data specified in the normative documents, we will construct a maintenance temporary line of the MWE sample, in particular T-64B. Assuming that the time of the MW is a random variable subject to a uniform distribution law. The mathematical expectation of this random variable, that is, the run of the machine before the MW-1 and MW-2, respectively, is

$$t_{a1} = \frac{10000}{8+1} = \frac{10000}{9} \approx 1111 \text{ (km)}. \qquad (2)$$

$$t_{a2} = \frac{10000}{4+1} = \frac{10000}{5} = 2000 \text{ (km)}. \qquad (3)$$

If we make the calculations based on the assumption that the MW-1 falls once per 2,500 km of the machine, and the MW-2 respectively - over 2,000 km, we get that the mileage for overhaul will be 22500 km against the conventional 10,000 km.

That is, it would be advisable to consider that the density of distribution of failures and the time of

maintenance are subject not to a uniform law of distribution, but, for example, the Poisson Law.

Since other statistical parameters are not known, it will be appropriate to limit the construction of a segment of the temporary line MW of the sample in the interval from the beginning of operation to the conduct of MW-1 [0, T] (Fig. 1).

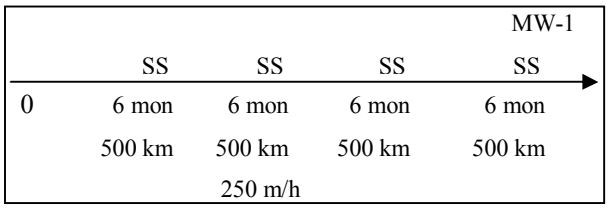


Fig. 1. Temporal line MOT of the sample OVT example T-64B

Using this data, we can find out:

$$t_{a1} = \frac{1111}{0,250} = 4444 \text{ (hour).} \quad (4)$$

An analysis of the T-64B controlled operation statistics shows that the largest number of failures is attributable to the fire control system (FCS), armament (A), power plant (PP), electrics (E) and undercarriage (UC) (Table 2) [9].

Table 2 – **Failures and damages of T-64B tank subsystems**

№	Name of the subsystem	Share of total
1	Armament (A) and fire control system (FCS)	0,197
2	Power plant (PP)	0,253
3	Transmission (T)	0,054
4	Undercarriage (UC)	0,216
5	Electrics (E)	0,206
6	Other subsystems	0,074

According to these data, the distribution function *Φ(t)* of a random variable t_n was constructed, which is subject to the same law as the function F(t) (Fig. 2) [9].

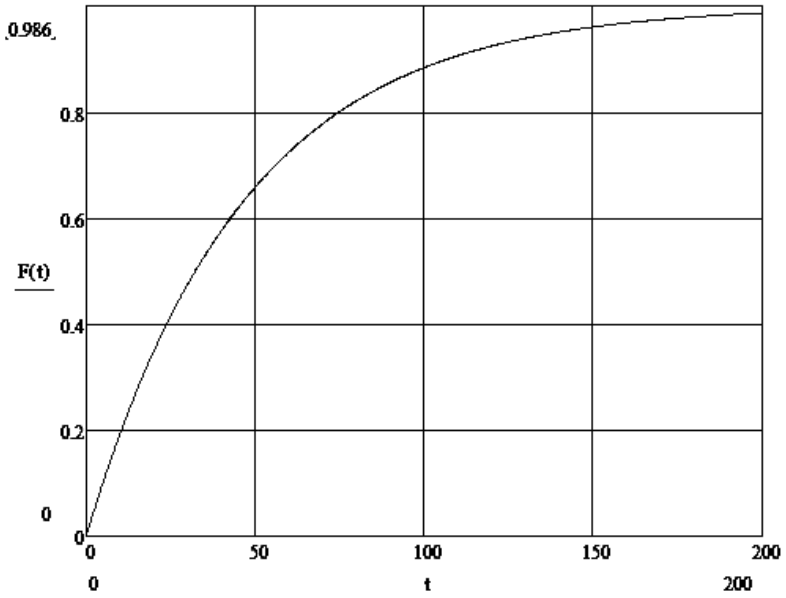


Fig. 2. Function distribution function F (t)

The duration of MR-1, provided that it is performed as part of the full crew of the machine is t_a = 7,6 h. When carrying out additional work on the preparation of weapons for firing, service after firing, the duration of MW increases by 2 hours [1-3]. Number and distribution of operations and types of T-64B tank maintenance are shown in Table 3. We will use this data to determine the magnitudes of tto and tb on the assumption of equal training of all crew members and the equal complexity of the work performed. For example, for power plant it is t_{mw} = 7,5 h, for air-cleaning system it is t_{mw} = 8 h, for transmission and running it is t_{mw} = 1,75 h; for electrics it is t_{mw} = 1 h [10-12].

The mathematical model of the process of functioning of the T-64B subsystems with periodic maintenance is chosen as a random semi-Markov process, schematically presented in Fig. 3.

Table 3 – **Number and distribution of T-64B tank operations and types of MW**

Type of maintenance	Total	Number of operations by major attributes					
		PP	T	UC	E	FCS	ECO
Ch before leaving	18	4	–	–	3	5	5
Ch at the stops	4	–	1	1	1	–	1
D	28	8	3	5	3	4	3
MW-1	61	14	5	9	7	10	8
MW-2	63	18	2	8	8	10	9

The process is characterized as a regenerative process whereby an entity can be in several states in an arbitrary process:

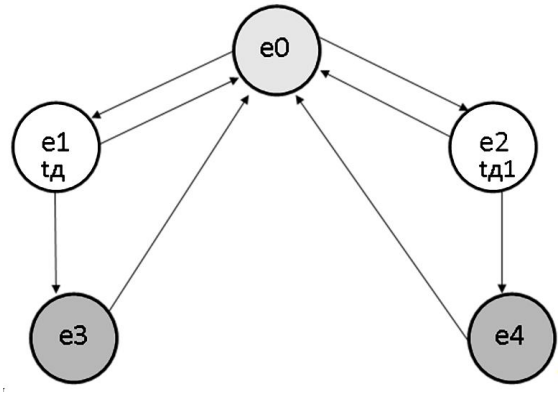


Fig. 3. Mathematical model of the process of functioning of the T-64B subsystems with periodic maintenance

e0 – are the state in which the object is operational;

e1, e2 – are the states in which the facility performs, respectively, the restoration of capacity for the admissible time td and MW for the admissible time t_{a1};

e3, e4 – are the states in which maintenance and current repairs are carried out after spending the time reserve t_a, t_{a1} [13].

Calculation of the coefficient of technical use K_{tu}. Taking into account the above and formula (1), we will determine the K_{tu} by the expression

$$K_{tu}(T) = \frac{\int_0^T [1-F(t)]\,dt + \int_0^{t_a} [1-F_{rc}(t)]\,dt \cdot F(T) + \int_0^{t_{a1}} [1-\Phi(t)]\,dt \cdot [1-F(t)]}{\int_0^T [1-F(t)]\,dt + \bar{t}_{mo}[1-F(T)] + \bar{t}_m F(T)}. \quad (5)$$

To finding out the optimal periodicity of the control of the technical condition and MW, it is proposed by classical equation to zero derivative expression (5) T to find the extremum of the function, that is, to determine the optimal frequency of the control of the technical state and MW T^* for each subsystem.

$$\frac{dK_{mв}}{dT} = 0 \rightarrow \max T = T^*. \quad (6)$$

Using the MathCAD computer algebra package, K_{tu} was calculated for the following T-64B tank subsystems: power plant; air purification system. transmission and chassis; electrical equipment [14, 15].

The results of the calculations are given in table 4.

Thus, for such tank subsystems as power plant, transmission and chassis, electrical equipment it is advisable to choose a maintenance strategy with periodic maintenance, and for a fire control and air purification system - maintenance strategy as of now.

Table 4 – **Optimal values of maintenance frequency and coefficient of technical use**

№	Name of the subsystem T-64B	Optimal value T_i^* h	K_{tu}
1	A та FCS	100	0,99
2	PP	260	0,9859
3	Air purification system	96	0,99
4	T and UC	290	0,994
5	E	∞	0,9945

Conclusions

1. An analysis of the existing maintenance and repair strategies has shown their single-handedly inefficient in the weapons and military equipment sample operating. The example of the T-64B shows that to put troops into practice, a proper justification and a complex combination of existing strategies is required, ie the creation of a new mixed strategy and efficient use of equipment.

2. It is proposed to decompose the weapons and military equipment sample sample into separate functionally completed subsystems, justifying the choice of the most appropriate maintenance strategies for them (with periodic or maintenance status), determining for each subsystem the optimal strategy and accordingly the periodicity of maintenance taking into account the time reserves and operation features, as well as separate subsystems into a single set of weapons and military equipment sample works for the sample as a whole. Optimal values of maintenance periodicity and coefficient of technical use are obtained by means of a mathematical model of the process of functioning of the T-64B subsystems with periodic maintenance in the form of a random semi-Markov process.

3. The results of the calculations show that for such tank subsystems as power plant, transmission and undercarriage, electrics, it is advisable to choose a maintenance strategy with periodic maintenance, and for a fire control and air purification system – maintenance maintenance as a condition. The results obtained can be used in the future to develop suggestions for improving the equipment used to diagnose the technical condition of the weapons and military equipment sample.

Improvement of the equipment used in the weapons and military equipment maintenance and repair will significantly increase the depth and quality of determining the technical condition of the objects, and therefore the correctness and efficiency of maintenance.

REFERENCES

1. Hulyayev, A.V., Zubaryev, O.V., Kanishchev, V.V. and Kolodyazhnyy, V.B. (2016), "Improving the efficiency of the maintenance and repair of weapons and military equipment", *Ozbroyennya ta viyskova tekhnika,* vol. 2, no. 10, pp. 43-48.
2. Kryvtsun, V.I. and Kmin, V.F. (2015), "Features of technical support during the initial period of ATO", *Prospects for the development of weapons and military equipment of the Land Forces*, May 14-15, Lviv, UA, p. 201.

3. Goloshchapov, I. M. (1989), *Operation of armored weapons and equipment*, Voyenizdat, Moscow, SU.
4. Volokh A. P, (2007), *The technique of substantiation of rational values of the parameters of maintenance of machines of engineering armaments at their use on purpose*, Ph.D. Thesis; D. Sc. Thesis, Kamyanets-Podilskyy, UA.
5. Chornyy, V.M., Dolhov, R.V. and Budyanu, R.H. (2009), "Armament Maintenance and Repair Strategies and Military Equipment "on conditions", *Viyskovo-tekhnichnyy zbirnyk*, vol. 1, pp. 65-68.
6. Smirnov, N. N. and Itskevich, A.A. (1987), *Maintenance and repair of aircraft in condition*, Transport, Moscow, SU.
7. Lanetskiy, B.N., Luk'yanchuk, V.V. and Fomenko, D.V. (2009), "Justification of optimal maintenance and repair strategies for complex technical systems", *Systemy obrobky informatsiyi,* vol. 6, no. 80, pp. 72–78.
8. *The official site of Center for Army, Conversion, and Disarmament Studies*, available at: http://cacds.org.ua/ru/activities/.
9. *Analysis and generalization of the results of controlled operation and statistical accounting of failures and damage to BTVT objects during their operation: report / military unit 68054* (1989), Moscow, SU.
10. Maryutyn, M. Y. (1973), *Technology of repair of armored vehicles*, VA BTV, Moscow, SU.
11. Ludchenko, O.A. and. Petrenko, O.M. (2006), "Substantiation of the frequency of diagnosing the elements of cars that do not affect the safety of traffic", *Zbirnyk naukovykh prats,* NTU, Kyiv, vol. 1, 10-13.
12. Kredentser, B.P. and Volokh, O.P. (2005), "Model of periodic maintenance of armaments and military equipment", *Zb. nauk. pr. VITI NTUU "KPI",* vol. 2, pp. 53-56.
13. Korolyuk, V.S. and Turbin, A.F. (1976), *Semi-Markov processes and their applications*, Naukova dumka, Kyiv, UA.
14. Herhager, M. and Partoll, H. (2000), Mathcad 2000, *The Complete Guide*, BHV, Sankt-Peterburg, RU, Iryna, Kyiv, UA.
15. *Sample 447A (437A), Technical description and instruction manual. Vol. 2 (1986),* Voyenizdat, SSSR, Moscow, SU.

Надійшла (received) 22.09.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Ковальов Іван Олександрович – старший викладач кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Ivan Kovalov – Senior Instructor of the Armored vehicles and military equipment Department, Military Institute of Tank Troops of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: tom_1972@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-2376-7840

Базелюк Володимир Миколайович – старший викладач кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Volodymyr Bazeliuk – Senior Instructor of the Armored vehicles and military equipment Department, Military Institute of Tank Troops of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: kaf_ing_fvp@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-7348-0349

Ісаков Олександр Володимирович – старший викладач кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Oleksandr Isakov – Senior Instructor of the Armored vehicles and military equipment Department, Military Institute of Tank Troops of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: alexalex999@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-0801-790X

Калінін Ігор Вікторович – викладач кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Igor Kalinin – Instructor of the Armored vehicles and military equipment Department, Military Institute of Tank Troops of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: kalina7164@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-3912-8285

Шаповал Олександр Миколайович – старший викладач кафедри бойового та логістичного забезпечення, Національна академія Національної Гвардії України, Харків, Україна;
Oleksandr Shapoval – Senior Instructor of the combat and logistical support Department, National Academy of the National Guard of Ukraine, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: shapoval.oleksandr@nangu.edu.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-2845-5109

Обґрунтування параметрів обслуговування зразка озброєння та військової техніки з урахуванням структури, почасової надмірності та рівнів працездатності

І. О. Ковальов, В. М. Базелюк, О. В. Ісаков, І. В. Калінін, О. М. Шаповал

Предметом вивчення в статті є технічне обслуговування зразків бронетанкового озброєння та військової техніки при їх використанні за призначенням. **Метою дослідження** є обґрунтування оптимальних значень параметрів обслуговування**. Задачі:** розробка математичної моделі процесу функціонування підсистеми зразка озброєння та військової техніки із періодичним техобслуговуванням; обґрунтування параметрів обслуговування зразка озброєння та військової техніки з урахуванням його структури, почасової надмірності та рівнів працездатності; декомпозиція зразка озброєння та військової техніки на окремі підсистеми для обґрунтування вибору найбільш доцільної стратегії

техобслуговування для кожної із них, визначення оптимальної стратегії техобслуговування з урахуванням умов експлуатації, задіяності вузлів та агрегатів. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи** наукового пізнання. Отримані такі **результати.** Запропоновано визначення оптимальних значень періодичності технічного обслуговування для окремих підсистем зразка озброєння та військової техніки з урахуванням резервів часу і особливостей функціонування, а також суміщення операцій обслуговування окремих підсистем в єдиний комплекс робіт для зразка в цілому на основі представлення процесу функціонування підсистеми зразка озброєння та військової техніки у вигляді математичної моделі випадкового напівмарківського процесу. **Висновки.** Аналіз існуючої системи технічного обслуговування та стратегій техобслуговування і ремонту показав їх поодиноку невисоку ефективність щодо експлуатації озброєння та військової техніки. На прикладі танка Т-64Б показано, що з у практику військ потрібне відповідне обґрунтування та комплексне поєднання існуючих стратегій, тобто створення нової змішаної стратегії та ефективного використання обладнання. Пропонується декомпозиція зразка озброєння та військової техніки. на окремі функціонально закінчені підсистеми з обґрунтуванням вибору для них найбільш доцільних стратегій обслуговування (із періодичним чи техобслуговування за станом), визначення для кожної підсистеми оптимальної стратегії та відповідно періодичності техобслуговування з урахуванням резервів часу і особливостей функціонування, а також суміщення операцій обслуговування окремих підсистем в єдиний комплекс робіт техобслуговування для зразка в цілому. Оптимальні значення періодичності техобслуговування та коефіцієнту технічного використання отримані за допомогою математичної моделі процесу функціонування підсистем Т-64Б із періодичним техобслуговування у вигляді випадкового напівмарковського процесу. Результати розрахунків свідчать, що для таких підсистем танка як силова установка, трансмісія і ходова частина, електрообладнання доцільно обрати стратегію обслуговування із періодичним техобслуговування, а для системи управління вогнем та повітреочищенням – стратегію техобслуговування за станом. Отримані результати можуть бути використані в подальшому для розроблення пропозицій щодо удосконалення обладнання, що використовується при діагностуванні технічного стану зразка озброєння та військової техніки. Удосконалення обладнання, що використовується при технічному обслуговуванні та ремонті озброєння та військової техніки. дозволить значно підвищити глибину та якість визначення технічного стану об’єктів, а отже, правильність і ефективність техобслуговування.

Ключові слова: технічне обслуговування і ремонт; коефіцієнт технічного використання; граф станів; напівмарківський процес; часова пряма технічного обслуговування.

Обоснование параметров обслуживания образца вооружения и военной техники с учетом структуры, временной избыточности и уровня работоспособности

И. А. Ковалев, В. Н. Базелюк, А. В. Исаков, И. В. Калинин, А. Н. Шаповал

Предметом изучения в статье является техническое обслуживание образцов бронетанкового вооружения и военной техники при их использовании по назначению. Целью исследования является обоснование оптимальных значений параметров обслуживания. **Задачи:** разработка математической модели процесса функционирования подсистемы образца вооружения и военной техники с периодическим техобслуживанием; обоснование параметров обслуживания образца вооружения и военной техники с учетом его структуры, почасовой избыточности и уровней работоспособности; декомпозиция образца вооружения и военной техники на отдельные подсистемы для обоснования выбора наиболее целесообразной стратегии техобслуживания для каждой из них, определение оптимальной стратегии техобслуживания с учетом условий эксплуатации, задействованной узлов и агрегатов. Методологической основой исследования стали общенаучные и специальные методы научного познания. Получены следующие **результаты** Предложено определение оптимальных значений периодичности технического обслуживания для отдельных подсистем образца вооружения и военной техники с учетом резервов времени и особенностей функционирования, а также совмещение операций обслуживания отдельных подсистем в единый комплекс работ для образца в целом на основе представления процесса функционирования подсистемы образца вооружения и военной техники в виде математической модели случайного полумарковских процесса. **Выводы**: Анализ существующей системы технического обслуживания и стратегий техобслуживания и ремонта показал их одиночную невысокую эффективность по эксплуатации вооружения и военной техники. На примере танка Т-64Б показано, что в практику войск необходимо соответствующее обоснование и комплексное сочетание существующих стратегий, то есть создание новой смешанной стратегии и эффективного использования оборудования. Предлагается декомпозиция образца вооружения и военной техники на отдельные функционально законченные подсистемы с обоснованием выбора для них наиболее целесообразных стратегий обслуживания (с периодическим или техобслуживания по состоянию), определение для каждой подсистемы оптимальной стратегии и соответственно периодичности техобслуживания с учетом резервов времени и особенностей функционирования, а также совмещение операций обслуживания отдельных подсистем в единый комплекс работ техобслуживания для образца в целом. Оптимальные значения периодичности техобслуживания и коэффициента технического использования полученные с помощью математической модели процесса функционирования подсистем Т-64Б с периодическим техобслуживания в виде случайного полумарковских процесса. Результаты расчетов свидетельствуют, что для таких подсистем танка как силовая установка, трансмиссия и ходовая часть, электрооборудование целесообразно выбрать стратегию обслуживания с периодическим техобслуживания, а для системы управления огнем и воздухоочистки - стратегию техобслуживания по состоянию. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для разработки предложений по совершенствованию оборудования, используемого при диагностировании технического состояния образца вооружения и военной техники. Совершенствование оборудования, используемого при техническом обслуживании и ремонте вооружения и военной техники позволит значительно повысить глубину и качество определения технического состояния объектов, а следовательно, правильность и эффективность техобслуживания.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт; коэффициент технического использования; граф состояний; полумарковских процесс; временная прямая технического обслуживания.

UDC 623.004.67 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.08**

V. Kononov, A. Chorna, M. Azizova

Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

MEASURING THE PRESSURE IN DYNAMIC MODE

Abstract. The subject study of the article is to measure the pressure in the dynamic mode used in parts of the regional center of standardization and metrology during the verification and calibration of measuring equipment and during their operation. The article is research process of measuring the pressure in the dynamic mode and the principles of perspective on device verification and calibration of pressure. The problem to be solved is justification of technical solutions and their implementation in practice. It will improve measurement accuracy pressure measurement used for verification and calibration of the device on checking and calibration of pressure by applying a generalized block diagram of pressure offered. The article shows the Dynamic mode of pressure; dependence of dynamic properties of measurement tools on the nature of changes in the value measured; research of dynamic characteristics of pressure; the input error measuring pressure in dynamic mode; block diagram and principle of the prospective device on checking and calibration of pressure which are being developed. **Conclusion:** The proposed technical solutions should be used as the modernization of existing pressure meters, and in the creation of promising samples of pressure meters.

Keywords: pressure; pressure meter; dynamic mode.

Introduction

Formulation of the problem. Recently, need to control the technical parameters of samples of industrial machinery and control their metrological characteristics have raised due to increased of useful life by the State Center specialists of Standardization and Metrology State. Existing measuring instruments are constantly in need of improvement of metrological characteristics undertaken to improve the reliability of the control parameters of industrial equipment designs. One of the parameters is the pressure. One of the requirements for verification and calibration of measuring pressure is to increase the quality of verification and calibration of measuring pressure. For this purpose, methods for analog-digital conversion, which to describe the control scheme of the device for pressure measuring, work both in statistical and dynamic modes.

During verification and calibration of pressure measurement it is necessary to measure in a rather precise way and get more rational measure of this parameter. Thus the relevance of the scientific and applied problems is caused with the constant increase in requirements as a means of pressure measuring in metrological agencies.

Analysis of the literature. Principles and organizational framework of metrological software and the role and place metrological support in Ukraine, are set out in the Law of Ukraine "About metrology and metrological activity" [1] "ISO 2681-94. Metrology, Terms and Definitions" [2], the ISO [3, 4] in [5, 6], in the literature [7 - 19].

Mathematical models determine the number of orders for the guaranteed metrological service of armament and military equipment taking into consideration their importance described in [5]. The process of forecasting capabilities of Metrology repair of damaged units of measurement devices, military described in [6]. Operating Basics of measuring instruments are outlined in the literature [7].

Survey questions concerning measuring pressure are thoroughly discussed in [8] It also discusses theoretical information on means of measuring pressure. At the same time questions related to the measurement of the pressure in the dynamic mode remain open.

The goal of article is an analysis of pressure measuring in the dynamic mode and the principles of perspective on device of verification and calibration of pressure.

Main material

The change in time of the measured value $X(t)$ results in a dynamic mode of operation of pressure. In this mode, the measurement accuracy much depends on the dynamic characteristics of measuring instruments and the nature of the change in the value measured.

In order to get an accurate value $X(t)$ of output signal over time which is measured regardless of the nature of the changes it is necessary to comply:

$$Y(t) = k_{ном} X(t), \quad (1)$$

where $k_{ном}$ - nominal rate conversion.

To simplify the analysis of dynamic mode assume that the pressure meter is not static error, so the actual conversion rate $k_p = k_{ном}$ is the entire range of measurement input $X(t)$.

Actual measurement tools have a dynamic quality due to the presence of elements which have a mass of elastic elements in electrical appliances, capacitance and inductance in measuring circuits, etc., which leads to greater relationship between $X(t)$ and $Y(t)$.

There is different ways to describe the dynamic characteristics of measuring instruments and assessment of errors that occur in dynamic mode, the most complete of these qualities can be described by differential equations, transient and shifting pulse characteristics, frequency response and transfer function.

Dynamic mode among a broad class of pressure can be described by the differential expression of linear inhomogeneous with constant coefficients:

$$A_n Y^{(n)}(t) + A_{n1} Y^{(n1)}(t) + \\ + A_1 Y'(t) + Y(t) = k_{ном} X(t), \quad (2)$$

where $k_{ном}$ – nominal conversion factor.

Accuracy of the input measuring pressure in the dynamic mode is given by:

$$ДУ(t) = Y(t) - Y_u(t), \quad (3)$$

where $Y(t)$ – real input signal; $Y_u(t)$ – ideal output signal.

Definition of error $ДУ(t)$ and fundamentally possible, but in practice there are difficulties, because the analytical expression for $Y(t)$ Unknown and determination $Y(t)$ registered in the output signal from a graph (Fig. 1) can be carried out with the necessary accuracy.

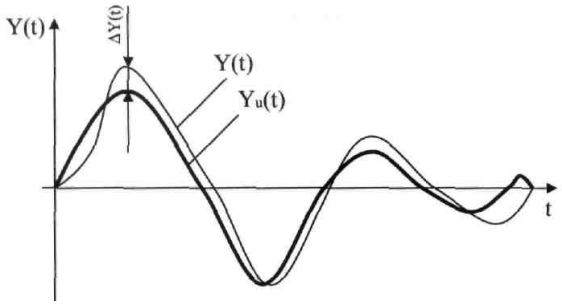


Fig. 1. Meter error in input pressure in dynamic mode

To study the dynamic properties of pressure commonly used dynamic range of first and second order. So often use some dynamic error estimation, describing the result of measurement values $Y(t)$ which changes over time.

Dynamic range is described by second-order equations:

$$A_2 Y''(t) + A_1 Y'(t) + Y(t) = k_{ном} X(t), \quad (4)$$

or $$\frac{1}{u_0^2} Y''(t) + \frac{2в}{u_0} Y'(t) + Y(t) = k_{ном} X(t), \quad (5)$$

where u_0 – the frequency of oscillation personal circle;

$в$ – damping factor, the degree of sedation.

The degree of calm – characteristic value range which significantly affects the parameters of the dynamic processes that take place in that circle.

Using (2) and inequality:

$$max\left(Y''(t)\right) \le u_m^2\left(Y_m\right) \quad (6)$$

You can write the expression for dynamic range of input error by second order:

$$ДХ(t) = -\frac{Y''(t)}{\left(u_0^2 k_{ном}\right)} - \frac{2в Y'(t)}{\left(u_0 k_{ном}\right)} \quad (7)$$

Factor of A_m corresponding to maximum deviation Y_m is also not known. Moreover circle for the second order in general, $k_{ном}$ can be both less and more than nominal.

If accepted assumptions on the maximum frequency range of input signals for frequency response possible to determine the maximum value $k_{ном}$ in a given frequency range.

This device, developed, to be used both in static and in dynamic mode. Occurs during measurement dynamic error to determine which to use the expression (6). When choosing a block diagram that stipulates compensation scheme should be used type. In this scheme the result of the measurement is independent of errors, made each block separately, which improves accuracy pressure measurement. The device, developed appropriate to accomplish by combining all the blocks in the general case. Generalized block diagram pressure measuring device on checking and calibration of pressure, which is being developed is shown in Fig. 2.

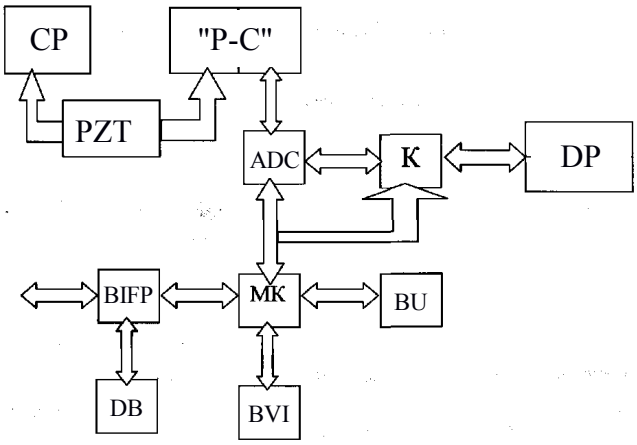


Fig. 2. Generalized block diagram of pressure on unit testing and calibration of pressure

Appointment blocks:

"P-C" - collection "piston-cylinder" is used as a working standard pressure;

DC - intended to reflect the position of the piston relative to the original;

PZT - designed to create excessive pressure;

ADC - used to convert DC to instantaneous;

K - designed for the distribution of information coming from the sensors;

D - is designed to convert the value of t c; cp% y in electricity value;

MK - is a special class computer technology and is designed to receive, process values coming from the ADC;

BU - keyboard controller display device input-output information;

BIFN - designed to connect ADC BU from the microprocessor has access to CPT and communication interface with computers;

BVI - designed to display information in a form suitable for the operator;

DB- designed for printing.

Principles of installation are as follows. When creating pressure with PZT, he also acts on the gear that calibrated and a collection of "P-C." At the core of differential pressure depending on the applied force and the cross-sectional area:

$$P = \frac{F}{S}, \quad (8)$$

where P – pressure; F – applied force; S – cross-sectional area.

The piston assembly "P-C" is to remove the provision that meets the value created pressure. This situation is controlled by the SE, which is used as a guidance converter. DP signal from entering the ADC, and then are converted into the appropriate form, enters the MC. This information is processed and the pressure appears on the display that allows the operator to monitor the value of the set pressure. At the same time, MK compares the pressure values set by the CP and pressure values, which are calculated in the MC.

A computer calculation error compared with the allowable values of error that are inherent in the program for this type of gauge calibration.

Select the type of gauge and calibration values of its properties must be entered by the operator before calibration, using BU. Installation is also temperature sensors, humidity and atmospheric pressure environment. Information from these sensors comes through K ADC, and then in a modified form in the MC, which is processed and taken into account when calculating the calibration error. MK fixes all errors throughout the calibration cycle, gives value to the BVI, as well as the database, where printed report and certificate of calibration. The unit operates in two modes: Mode "pressure" mode and "mass".

In the "pressure" setting is used for measuring the pressure generated in the pressure line and measurement result appears on the BVI and database.

In the "weight" setting is used for calibration manometers, pressure working standards.

Selecting the work carried out on the BU selecting the appropriate button.

In course of measurement on BVI installation is displayed as the position of the piston in the book "P-C" rate dipping piston temperature, atmospheric pressure and humidity. Also provides for the possibility of introducing amendments to reduce the local gravitational acceleration, if it is not provided loads used. Principles of installation are explained in the description of the block.

Conclusions

1. In the article the block diagrams and properties of pressure in the dynamic mode were examined.

2. In the article the block diagram and principle of the prospective device on checking and calibration of pressure were examined.

3. These technical solutions should be used as the modernization of existing pressure meters, and in the creation of promising samples of pressure meters.

REFERENCES

1. The Law of Ukraine (2014), "On metrology and metrological activity", *Supreme Council (BD)*, No. 30, item 1008.
2. GOST 2681-94 (1994), *Metrology: terms and definitions*, State Standard of Ukraine, Kyiv, 67 p.
3. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology* (1993), ISO - Geneva, ISBN 0-948926-08-2.
4. ILAC G 17 (2002), *Introducing the Concept of Uncertainty of Measurement in Testing in Association with the Application of the Standard ISO / IFS 17025*, available at: www.ilac.org
5. Kononov, V.B. and Burtsev, V.V. (2017), "Mathematical models determine the number of orders for the guaranteed metrological service of armament and military equipment in view of the importance of information processing systems", *Coll. Science. pr. HNUPS*, vol. 1 (147), Kharkiv, pp. 88-92.
6. Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04
7. Sakovich, L.M., Krykhovetskyi, G. and Nebesna, Y. (2018), "Set-theoretic models of objects with variable structure", Control*, navigation and communication systems*, Vol. 5 (51), pp. 136-139, DOI: http://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.5.136
8. Kononov V.B. and Naumenko A.M. (2012), *Measurement equipment non-electrical means-value. Part 2: Pressure and temperature*, HNUPS, Kharkiv, 178 p.
9. Kononov V.B., Naumenko A.M., Vodolazhko O.V. and Koval O.V. (2017), *Operating Basics of measuring instruments for military use under conditions of ATO*, HNUPS, Kharkiv, 288 p.
10. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24
11. Kuchuk, G., Nechausov, S. and Kharchenko, V. (2015), "Two-stage optimization of resource allocation for hybrid cloud data store", *International Conference on Information and Digital Technologies*, *Zilina*, pp. 266-271, DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982
12. Ruban, I., Kuchuk, H. and Kovalenko A. (2017), "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75–81, DOI : https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075
13. Kuchuk, G., Kovalenko, A., Komari, I.E., Svyrydov, A. and Kharchenko V.. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171, Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.), Springer Nature Switzerland AG, pp. 161–183.
14. Kovalenko, A.A. and Kuchuk, G.A. (2018), "The current state and trends of the development of computer systems of objects of critical application", *Systems of control, navigation and communication*, PNTU, Poltava, No. 1 (47), pp. 110–113. DOI : https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.110.

15. Saravana, Balaji B.,, Karthikeyan, N.K. and Raj Kumar, R.S., (2018), "Fuzzy service conceptual ontology system for cloud service recommendation", *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 69, pp. 435–446, DOI: https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2016.09.013.
16. Saravana, Balaji B., Mohamed, Uvaze Ahamed, Eswaran C. and Kannan R., (2019), "Prediction-based Lossless Image Compression", *Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics* (Springer), Vol. 30, No 1, pp.1749 – 17961, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-00665-5_161
17. Dhivakar, B., Saravanan, S.V., Sivaram, M. and Krishnan R.A. (2012), "Statistical Score Calculation of Information Retrieval Systems using Data Fusion Technique", *Computer Science and Engineering*, Vol. 2, Issue 5, pp.43-45, DOI: http://doi.org/10.5923/j.computer.20120205.01
18. Sivaram, M., Batri, K., Amin Salih, Mohammed and Porkodi V. (2019), "Exploiting the Local Optima in Genetic Algorithm using Tabu Search", *Indian Journal of Science and Technology*, Volume 12, Issue 1, DOI: http://doi.org/10.17485/ijst/2019/v12i1/139577
19. Polischuk, S.S., Dorozhovets, V.I., Stadnik, B.I., Ivakhiv, A.A. and Boyko, T.A. (2008), *Means and methods of measuring non-electrical values*, Natsionalnyts University "Beskid bit", Lviv, 529 p.

Надійшла (received) 22.08.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 23.10.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Кононов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, начальник кафедри метрології та стандартизації, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Vladimir Kononov – Doctor of Technical Science, Professor, Chief of the Department of metrology and standardization, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: aveprofessor@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-9946-5056

Чорна Алла Олександрівна – старший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Alla Chorna – Senior Researcher of the Air Force Scientific Centre, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: allachornaya78@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6695-1007

Азізова Марія Акобірівна – курсантка, Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна;
Mariia Azizova – cadet, Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: allachornaya78@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-5993-5175

Вимірювання тиску в динамічному режимі

В. Б. Кононов, А. О. Чорна, М. А. Азізова

Анотація. Предметом вивчення в статті є вимірювання тиску в динамічному режимі, що використовується в відділах регіональних центрів стандартизації та метрології при проведенні повірки та калібрування засобів вимірювальної техніки та в процесі їх експлуатації. **Метою статті** є дослідження процесу вимірювання тиску в динамічному режимі та принципів дії перспективного пристрою щодо повірки та калібрування приладів тиску. **Задача, що вирішується, –** обгрунтування технічних рішень, впровадження яких в практику вимірювання дозволить підвищити точність вимірювання тиску, що використовується при повірці та калібруванні пристрою щодо повірки та калібрування приладів тиску шляхом застосування узагальненої структурної схеми вимірювача тиску, що пропонується. В статті розглядається: динамічний режим роботи вимірювачів тиску; залежність динамічних якостей засобів вимірювання від характеру зміни величини, яка вимірюється; дослідження динамічних якостей вимірювачів тиску; похибка по входу вимірювача тиску в динамічному режимі; структурна схема та принцип дії перспективного пристрою щодо повірки та калібрування приладів тиску, що розробляється. **Висновки:** запропоновані технічні рішення доцільно використовувати як при модернізації існуючих вимірювачів тиску, так і при створенні перспективних зразків вимірювачів тиску.

Ключові слова: тиск; вимірювач тиску; динамічний режим.

Измерение давления в динамическом режиме

В. Б. Кононов, А. А. Черная, М. А. Азизова

Аннотация. Предметом изучения статьи является измерение давления в динамическом режиме, что используется в отделах региональных центров стандартизации и метрологии. **Целью статьи** является исследование процесса измерения давления в динамическом режиме и принципов действия перспективного устройства поверки и калибровки приборов давления. **Задачей** является обоснование технических решений, внедрение которых в практику измерений позволит повысить точность измерения давления, используемых при поверке и калибровке приборов давления при помощи использования обобщенной структурной схемы предлагаемого измерителя давления. В статье рассматривается динамический режим работы измерителя давления; зависимость динамического качества средств измерения от характера изменения измеряемой величины; исследование динамических качеств измерителей давления; погрешность по входу измерителя давления в динамическом режиме; структурная схема и принцип действия перспективного устройства по поверке и калибровке разрабатываемых устройств давления. **Выводы:** предложенные технические решения целесообразно использовать как при модернизации существующих измерителей давления, так и при разработке перспективных образцов измерителей давления.

Ключевые слова: давление; динамический режим; измеритель давления.

UDC 004.056 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.09**

Ya. Tarasenko

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

THE QUANTUM-SEMANTIC PSYCHOLINGUISTIC ANALYSIS METHOD FOR THE ENGLISH-LANGUAGE TEXT OF PROPAGANDA DISCOURSE

Abstract. The actual scientific problem of increasing the effectiveness of counteracting the impact of information propaganda on the basis of English-language texts is solved in the article by creating the quantum-semantic psycholinguistic analysis method for the English-language text of propaganda discourse. The subject of the study deals with the methods of psycholinguistic analysis, as well as the methods of providing quantum-semantic text analysis. The method consists of five stages and includes the basic psycholinguistic properties definition, a typical psycholinguistic profile constructing, identifying the manipulative features of the text and correlating them with the psycholinguistic profile, the technological strategy of information warfare determination and forming a model of propagandist's psycholinguistic portrait on the basis of quantum-semantic analysis, which allows determining the features of text perception by using n-grams. At the same time, the approach of automated discourse analysis based on the advanced ID3 algorithm with the use of intensional logic was improved. The psycholinguistic peculiarities of text written exactly by the propagandist are determined by means of carrying out the first two method's stages through the solvation of the semantic particle determination inverted problem, based on the informant's survey method. The manipulative features detection in the psycholinguistic portrait is carried out on the basis of the psychological influence traces study in the text through analyzing the English manipulative constructs and stylistic-semantic entropy, which, allows detecting manipulative deviations in text after correlating the set of semantic particles with a typical psycholinguistic profile. The results of the study provide a propagandists' psycholinguistic portrait definition in order to carry out the further actions of reverse targeted impact on him, taking into account his psychological characteristics for reducing the subconscious resistance and thus increasing the effectiveness of counter-propaganda. This will increase the level of the state's information security.

Keywords: psycholinguistic analysis; information propaganda counteraction; quantum-semantic research; propaganda discourse; psychological influence detection; the model of psycholinguistic portrait.

Introduction

The access to information is constantly simplified with the development of information technology, but at the same time, the ways to manipulate consciousness and to influence the subconscious are being arised. Such a situation threatens the state security, and therefore there is a need to counteract information propaganda, which in turn entails conducting information warfare. The Noam Chomsky's propaganda model, the propaganda platforms and ways analysis, which are described in [1] proves that a text is a unique mean of information providing and therefore is a mean of influence providing. However, due to the fact that the English-language text is a mean of communication in the modern world [2], as well as in Ukraine, it is necessary to counteract English-language propaganda to prevent the possibility of using one of the probable purposes of propaganda [3], namely discreditation of English-speaking countries by conducting propaganda in English-language texts. One of the effective ways to counteract such an impact is to carry out an inverse influence on the propagandist [4] in order to balance the process of information confrontation. However, against the prepared for countermeasures specialist, ordinary methods will not be effective. It can be possible to influence the propagandist's consciousness, bypassing the protective barriers only having information about his psycholinguistic portrait. The relevance of the article is conditioned by the fact that in case of unknown psycholinguistic portrait of the attacker in advance, or if only his superficial psychological features are known without taking into account the subconscious processes of textual information perception, it becomes necessary to construct his portrait and determine the peculiarities of the text perception by him.

Review of the literature and problem statement. The founders of the criminal's psycholinguistic analysis for the tasks of criminalistics, as it is noted in [5], were American scientists John Douglas and Murray S. Myron. Today, there are 3 basic methods of language material processing: introspection, observation and experiment [6], on which basis the methods of psycholinguistic analysis are built. For the purposes of computer psycholinguistic text analysis it's possible to use only observation and partly an experiment, which is advisable to carry out using the informant survey method [7]. Of course, there are many modern methods of psycholinguistic research, some of which are [8-11]. However, all of them, besides the advantages, also have a number of imperfections in context of the problem being considered. Some methods are not formalized, and therefore not adapted to automation, others are based on the study of a language that is not international, a number of automated methods do not take into account the quantum entanglement of the text's semantic particle perception by different persons, namely semantics worlds and are not correlated with the wave nature of the text. The problem of informational propaganda counteraction is urgent, and, as proved in [4], constructing a text along the propagandist's individual semantic line in order of impacting him will counteract such an informational influence. It follows that the existing means of psycholinguistic analysis are not sufficient to solve the problem. And this means that the corpuscular-wave properties of the text should be taken into account, quantum-semantic analysis should be held, and the factor of carrying out the influence and

propagandist's readiness to counter-measures should be considered. At the same time, discourse is important in text perception [8], in this case propaganda discourse, which means that existing methods of automated discourse analysis [12, 13] need to be adapted for taking into account propaganda discourse and corpuscular-wave properties of the text to solve the inverse problem of determining the coordinates of semantic particle in English text with a known psycholinguist portrait of propagandist [14]. All this requires the creation of a new method of psycholinguistic analysis

The aim of the article is increasing the effectiveness of counteracting the information propaganda influence in English texts by developing the quantum-semantic psycholinguistic analysis method for the English-language text of propaganda discourse.

For achieving the aim, the following **tasks** have been set: defining the psycholinguistic peculiarities of text written exactly by the propagandist; identifying the manipulative features in the psycholinguistic portrait; improving the approach of automated discourse analysis for determining the goals and objectives of information warfare; constructing a propagandist's psycholinguistic portrait by the known textual semantic component.

Main material

The quantum-semantic psycholinguistic analysis method for the English-language text of propaganda discourse involves five consecutive stages: the basic psycholinguistic properties definition, a typical psycholinguistic profile constructing, identifying the manipulative features of the text and correlating them with the psycholinguistic profile, the technological strategy of information warfare determination and forming a model of propagandist's psycholinguistic portrait.

Stage 1. The basic psycholinguistic properties definition.

The basic psycholinguistic properties of a text are known to be expressed both through morphological-syntactic features (the use of passive or active voices, simple or complex sentences, errors in sequence of tenses, etc.) and the semantic textual and contextual features of text and its discourse. To determine the basic psycholinguistic properties of the text, it is necessary to form a set S_1 with statistically dependent groups of morphological and syntactic features of the text and set of semantic features S_2. The sets' elements are appropriate groups of synonymic psycholinguistic constructions. Formation is based on searching the individual unitary objects O_n of the text, each of which is analyzed in turn. Unitary objects of the psycholinguistic portrait's morphological and syntactic category belong to four groups in order of their research priority increasing: words $\rightarrow$ phrases $\rightarrow$ grammatical constructions $\rightarrow$ sentences. These groups can be labeled as o_{n_1}, o_{n_2}, o_{n_3}, o_{n_4} respectively. In this case, text is analyzed in 4 stages. Firstly, it is being formed a set O_1, consisting of n elements, at that n = k, where k – the text's words number. Let O_1' be a synonyms set according to a synonym dictionary, the elements of which are the sets of appropriate synonymous groups o'_{m_1}, and if $o_{n_1} \in o'_{m_1}$ then an appropriate categorical feature is assigned to a set o_{n_1} in performing the condition $n > 1$. Thus, the statistical distribution of the categorical feature is checked and the possible signs of the psycholinguistic portrait are formed. Similar actions are performed in forming sets O_2, O_3, O_4, that are statistically dependent categorical synonymous features of the phrases', grammatical constructions' and sentences' use. The words dependence in such constructions is determined with the help of existing morphological-syntactic analysis methods [15], which is not difficult considering the constant word order in English, and synonymous constructions are revealed then.

The text's semantic features definition is made in analogous way with [14] by using contextual connections features with the core and indicator relations rules. However, in contrast to the described approach, the inverse problem is being solved: the set of propagandist's possible categorical features is being constructed instead of checking the text element with the existing categorical feature. Let an unitary object O_n of the text be an indicator, then the hierarchy will be built as follows: using the lexical function the connection of O_n with the core D is found at $D \in B^1$, where B^1 is the highest category in the hierarchy of the psycholinguistic features concepts. Since it is unknown exactly whether the found core belongs to the psycholinguistic portrait of the propagandist, the search for semantic constructs cores is carried out. It follows that B_r^1 – found cores of the highest category. Each core will have subcategories that can be marked through B_n^2. Searching the lowest categories $B_{n_r}^m$ of any core is carried out by finding the set $B = \{B_n^m \in B_r^1 \mid B_n^m \sim B_{n_r}^m\}$.

Stage 2. A typical psycholinguistic profile constructing.

As noted in [8], the discourse's functioning conditions depend on the recipient. That is why the informant survey method [7] is suggested to be used to improve the accuracy of the obtained data concerning the propagandist's psycholinguistic profile and its discourse. According to the [5], defining a psycholinguistic profile involves defining of three sections: the author's demographic profile, the author's character, and, finally, the possibility of committing actions the author warns (in the propaganda context, it is an opportunity of implementation the threats the author warns and which he proposes to solve). It follows the need of distinguishing the author's peculiarities from the set of basic psycholinguistic features of the text and clarifying them by using the method of informants' survey. First of all, it is necessary to highlight the unusual frequency of synonymous morphological-syntactic structures use and to determine the percentage value of the studied structure's R^{S_1} belonging probability to the author's psycholinguistic portrait by the formula (1):

$$R^{S_1}=\left(\left|\ln\left(Freq_{O_0}^{S_1}\cdot 100\Big/\sum_{i=1}^{k}O_i\cdot Freq'_{O_0}\right)\right|\Big/b\right)\cdot 100\,, \quad (1)$$

where $Freq_{O_0}^{S_{1n}}$ is the use frequency of the unary object initial form O_0, belonging to the morphological-syntactic features' set S_1 in the text being studied; $Freq'_{O_0}$ – the use frequency of the unary object initial form O_0 according to the frequency dictionary; $\sum_{i=1}^{k}O_i$ – all the unary objects' sum at k is the total words number in the text; b – accuracy coefficient $b\approx 4,605$. Thus, is detected the deviation from the normalized frequency of morphological or syntactic unary object use in the formed set of basic psycholinguistic features in order to further specifying them in applying the informant survey method to construct a psycholinguistic profile.

First of all, the distribution of synonymous constructions is made into S'_1, consisting of set's S_1 elements in performing the condition of a significant possibility of the construction's belonging to the author's psycholinguistic portrait (more than 50%), determined by studying the text's unary objects use frequency. The resulting set is divided into 2 subsets: S'_{1_1} and S'_{1_2}, consisting of elements that have the features of the author's demographic profile and his character respectively. To specify the obtained conclusions, a text of a provocative character is selected according to the revealed psycholinguistic features. Its predicative constructs (according to their most informative load and the constant word order in the English text) are modified and a new text T is forming according to the principle (2):

$$T=\frac{\prod_{k=1}^{n}(G+H)_k}{\prod_{k=1}^{m}(G^{S'_{1_n}}+H^{S'_{1_n}})_k}+\prod_{k=1}^{m}\left(G^{S'_{1_n}}+H^{S'_{1_n}}\right)_k\,, \quad (2)$$

where $(G+H)$ is a predicative construction, which consists of G – subject and H – predicate; n – the number of all modified text's predicative constructs; m – the number of all predicative constructs belonging to the formed sets S'_{1_1} and S'_{1_2} in performing the condition that $(G+H)_n\Rightarrow(G^{S'_{1_n}}+H^{S'_{1_n}})_n$. Thereafter, a similar text-response study is performed to obtain the set S''_1, which elements determine the demographic profile and character of the new text's author. If the value in truth table formed for $S'_1\wedge S''_1$ is 1, then the characteristic belongs to the author.

The last element of the psycholinguistic profile, namely the possibility of committing actions the author warns, can be investigated only by revealing the semantic features of the author, using quantum-semantic text analysis. First of all, it is necessary to distinguish the individual semantic component belonging to the author, that is, to perform the inverse problem described in [14] and, thus, to investigate the corpuscular properties of the text's semantics. To do this, it is necessary to distinguish a number of arbitrary coefficients P (3), with changes due to the individual characteristics of the English-language text's author.

$$\begin{aligned}&P_n=-\left(P_1\cdot A'_2+P_2\cdot A'_3+\ldots+P_{n-1}\cdot A'_{n-1}-E''1\right)\Big/A'_n;\\&P_{n+1}=-\left(-P_1\cdot A'_1+P_n\cdot A'_3+\ldots+P_n\cdot A'_{n-1}-E''2\right)\Big/A'_n;\\&\qquad\ldots;\qquad P_{\sum_1^m n-1}=\\&=\left(-P_{m-1}\cdot A'_1-\ldots-P_{\sum_{n-1}^m n-2}\cdot A'_{n-2}-E''m\right)\Big/A'_{n-1},\end{aligned} \quad (3)$$

where E''_m – semantic meaning of the text's separate lexical-semantic unit being studied; A'_n – English lexical units. Considering the fact that an arbitrary coefficient in performing the condition of using information propaganda in English text [14] $P_n=U_n+r$, where U_n is an arbitrary coefficient for the text-interpretation of another language's native speaker then it follows the search of a component r, which influences the forming process of a semantic particle in English text by the formula (4):

$$\begin{aligned}&r_1^{S_2}=P_n-U_n;\quad r_2^{S_2}=P_{n+1}-U_n;\quad\ldots\\&r_m^{S_2}=P_{\sum_{n=1}^m n-1}-U_n.\end{aligned} \quad (4)$$

Thus, it is being formed a semantic psycholinguistic features' set $S_2^*=\{r_1^{S_2},r_2^{S_2},\ldots,r_m^{S_2}\}$, while the set $S_2^*\in S_2$. However, the wave features of the text should also be considered at the same time to determine the possibility of committing actions the author warns. Let M_n be the semantics points, existing in the text under study, then after applying them to the XOY plane and Lagrange it will be received a function $f(x^{S_2},y^{S_2})$, describing the linear and logical development of the text's semantic component. There will be 2 extreme's in such a function: $M_{n'}(x_{n'}^{S_2},y_{n'}^{S_2})$ and $M_{n''}(x_{n''}^{S_2},y_{n''}^{S_2})$, which are responsible for the threat and its resolution, respectively. Since, the author's individual features will go beyond the semantic line of the text, then the individual semantic component (J) depending on the text's semantic function (4) will be a set of values which distance from extreme's are to be studied.

$$J=S_2^*\setminus D(f(x^{S_2},y^{S_2}))\,.$$

The distance can be determined if the elements j_n of the set J will be taken as the vector's beginning and the extreme's as the vector's end. Then, the possibility of committing actions will be inversely proportional to the vector's length $\left|\overline{j_nM_{n''}(x_{n''}^{S_2},y_{n''}^{S_2})}\right|$.

Stage 3. Identifying the manipulative features of the text and correlating them with the psycholinguistic profile.

Based on the fact that the article deals with the problem of propaganda texts analysis, and the [4] proves that the basis for propaganda is texts published in mass

media, it can be argued that the text should be written in a journalistic style. So, first of all, it is necessary to prove that the text corresponds to this style. To do this, it is necessary to determine the unconditional semantic entropy (5) for the detection of journalistic style signs, using the technique [16], which will also be necessary in determining the n-grams [17] when forming a model of the propagandist's psycholinguistic portrait.

$$H_{без.}(x) = \sum_{i=1}^{b} \sum_{j=1}^{h} P(x_{ij}) \cdot \log_2 \frac{1}{P(x_{ij})} \approx C_{jour.}, \quad (5)$$

where x – lexical unit of the text under study; b – frequency dictionary size; h – the journalistic dictionary size; $P(x_{ij})$ – the appearance possibility of a journalistic dictionary lexical structure according to the appearance frequency of that structure; $C_{jour.}$ – an entropy constant of journalistic style text.

In case of confirming the studied text's belonging to the category of journalistic style texts, the detection of manipulative features is carried out, which, first of all, involves determining the psychological influence presence in the studied text. Article [18] describes the features, structure, stages, strategies and target elements of psychological influence in details. Accordingly, it can be argued that quantum-semantic research occurs in conditions of the second stage of psychological influence, namely, the situation of such influence implementation with the use of specific means and techniques is considered. As to the applied strategies of suggestive influence, the first and the second strategies are considered: imperative and manipulative respectively. Thus, the signs of the text's logical structure violation presence in the regulation of the activity of the subject are studied in the text, and it is being formed the sets: Q_1 – synonymous constructions that have categorical signs of needs and interests; Q_2 – synonymous constructions with categorical signs of activity and action; Q_3 – synonymous constructions with emotional character. Particular attention is paid to such constructs as Subjunctive mood and Imperative mood, and to the relation of these constructs with the predicative construct. Suppose V is the set of lexical units that form sentences V' – the set of lexical units that are grammatically modified to form the constructs of Subjunctive mood and Imperative mood. Then condition (6) is checked:

$$\sum_{i=1}^{n} v_i \neq \sum_{i=1}^{n} (v' \cdot e)_i, \quad (6)$$

where e – is an element that changes the lexical unit to form a grammatical construction.

If this condition is fulfilled, it means the possibility of using propaganda in the sentence, and therefore the sentence needs further studying. The next stage studies the relation e with the semantics core in the semantic particle to comply with the corpuscular properties of the text. Thus, it is being formed a semantic particles' set B^* with the psychological impact signs and the core's category is being determined:

$$B^* = \{e \in Q_n \mid B^m_{n_r} \in Q_n\}. \quad (7)$$

After that, the correlation of the obtained set of semantic particles bearing the propaganda traces with the typical psycholinguistic profile is carried out by searching for common elements of the semantic psycholinguistic features set and the semantic particles set with signs of psychological influence: $S_2^* \cap B^*$. The percentage value of text modification possibility Z' for the purpose of the author's propaganda influence is determined:

$$Z' = \left(\left| S_2^* \cap B' \right| \Big/ \left| S_2^* \right| \right) \cdot 100. \quad (8)$$

In addition to the sentence examination, it is necessary to examine the whole text, namely its semantic line, where imperative constructions and phrases-markers bearing the target psychological influence are extremums $M^{Q_n}_{m'}(x^{Q_n}_{m'}, y^{Q_n}_{m'})$ of the function that describes the consistent development of the text semantics. Remoteness of the set's B^* elements $b^*_{m'}$, that correlate with the core of an appropriate category by the psycholinguistic influence signs from the extremum, which is an element of psychological influence indicates the propaganda integtated in the text. In considering b^*_n as the vector's beginning, and an appropriate extremum as the end, then the probability of the author's propaganda will be inversely proportional to Z'', which will be determined:

$$Z'' = \sum_{i=1}^{m'} \left| \overline{b_i^* M_i^{Q_n}(x_i^{Q_n}, y_i^{Q_n})} \right| \Big/ m'. \quad (9)$$

Stage 4. The technological strategy of information warfare determination.

In case of detecting the fact of integrating the manipulative features by the text's author or editor, it can be stated that there are elements of propaganda in some type. It follows that propaganda discourse analysis should be held in order to identify the connections of the technological strategy of information warfare. According to the table of information warfare technological aspects [3], the propaganda methods follow the ways, and propaganda objects follow means by defining which, it is possible, to predict the goals and objectives of influence, to evaluate the result, and this requires the propaganda discourse study. Discourse analysis will provide information about the author's environment and, as a consequence, his perception of the environment. This perception correlates a typical psycholinguistic profile with a particular model of the propagandist's psycholinguistic portrait. The propaganda discourse should be analyzed using the method [12]. However, this method requires improvement for taking into account the corpuscular-wave characteristics of the text. The discourse tree construction should be carried out by applying the ID3 advanced algorithm, adapted for the contextual connection analysis in order to comply with the corpuscular properties of the text when correlating the categories of the core with the target element of psychological influence and the attribute of informational-psychological warfare determination:

$$Attr(Q_n) = H(B^m_{n_r}) - H_{Q_n}(B^m_{n_r}), \quad (10)$$

where Q_n – synonymous constructions with the psychological influence signs, $H(B^m_{n_r})$ – the entropy of the categories set of semantic core in contextual connection, and $H_{Q_n}(B^m_{n_r})$ is calculated:

$$H_{Q_n}(B^m_{n_r}) = \sum_{i_r=1}^{n} \left(\left| B^m_{i_r} \right| \Big/ B^m_{i_r} \right) \cdot H(B^m_{i_r}). \quad (11)$$

Taking into account the entropy calculation features (5), the final formula for the attribute calculation (12) is possible to be determined.

$$Attr(Q_n) = \sum_{i=1}^{m} P\left(B^i_{n_r}\right) \cdot \log_2 \frac{1}{P(B^i_{n_r})} - \sum_{i=1}^{n} \frac{\left|B^m_{i_r}\right|}{B^m_{i_r}} \cdot H\left(B^m_{i_r}\right), \quad (12)$$

where m – the size of the core categories set; $P(B^i_{n_r})$ – the appearance probability of a semantic core category.

In addition, the wave features of the text according to the text semantics perception by the author and the object of psychological influence are described by the function (13) according to the intensional logic rules in the Montague formal semantics [19].

$$F : D_{<e,t>, S_2^*, W, Attr(Q_n)^{S_2^* x W}}, \quad (13)$$

where $D_{<e,t>}$ – predicative constant, S_2^* – individual semantic elements, W – perception worlds' set.

In this case, the extremum of the function will indicate the particular attribute's predominance. By defining an attribute, it can be followed the propaganda method and goals. At the same time, other elements of the author's environment are determined by studying the attributes' antiphases, and the world of semantics perception will point to a model of psycholinguistic portrait.

Stage 5. Forming a model of propagandist's psycholinguistic portrait.

After analyzing the text of propaganda discourse, it is possible to form a psycholinguistic portrait of the propagandist. The main characteristics that determine his subjective reality perception is his memory and experience. Since n-grams help to allocate the subject's normal memory [17], it can be assumed that this approach will allow the processing of the semantics core's categorical features. Based on the approach described in [20], the most probable sequences of the semantics core's categorical features in contextual connection (14) are determined by the direction of semantics development and the defined world of text perception.

$$P(B^m_{n_r} \cdot W' \mid B^1_{n_r} \cdot W', ..., B^{m-1}_{n_r} \cdot W') = \frac{P(B^1_{n_r} \cdot W', ..., B^{m-1}_{n_r} \cdot W')}{\prod_{i=1}^{m-1} P(B^i_{n_r} \cdot W' \mid B^1_{n_r} \cdot W', ..., B^{i-1}_{n_r} \cdot W')}, \quad (14)$$

where W' – the propagandist's perception world.

When W' is determined by the entropy E' of the semantic psycholinguistic characteristics set S_2^* of the arbitrary coefficient components $r_m^{S_2}$ of English text interpretation by the propagandist (15).

$$E' = \sum_{i=1}^{\left|S_2^*\right|} P(i) \cdot \log_2 1/P(i). \quad (15)$$

Thus, the perception world is defined (16):

$$W' = E' \cdot \int F : D_{<e,t>, S_2^*, W, Attr(Q_n)^{S_2^* x W}} dW \cdot W_n. \quad (16)$$

In addition, it should be specificated, taking into account the propaganda discourse identified in the fourth stage of the method and the temporal characteristics t_n of the psychological portraiture development. Thus defining the world of the propagandist's perception, regardless of the text writing time W'' will be (17):

$$W'' = W' / (Dis \cup t), \quad (17)$$

where *Dis* – the author's propaganda discourse environment set of attributes; t – a time moments' set.

As a result, the model of propagandist's psycholinguistic portrait (*Mod*) will be formed on the principle:

$$Mod = \prod_{i=1}^{\left|S_2^*\right|} (W'' + Attr(Q_n))_i, \quad (18)$$

where $W'' + Attr(Q_n)$ – the components of the propagandist's psycholinguistic portrait semantic category. Thus, conducting element-wise decomposition of psycholinguistic portrait's indicators and obtaining attributes inherent to the investigated individual are the last steps.

Conclusions

The actual scientific problem of increasing the effectiveness of counteracting the impact of information propaganda on the basis of English-language texts is solved in the article by creating the quantum-semantic psycholinguistic analysis method for the English-language text of propaganda discourse.

The psycholinguistic peculiarities of text written exactly by the propagandist are determined by defying the basic psycholinguistic properties' means and constructing a typical psycholinguistic profile through solving the inverted problem of determining the coordinates of semantic particle in English text with a known psycholinguist portrait of propagandist, based on the informant's survey method which allows forming a psycholinguistic features' set that contains the coefficient components used to identify propaganda features in a psycholinguistic profile.

The manipulative features detection in the psycholinguistic portrait is carried out on the basis of the psychological influence traces study in the text through analyzing the English manipulative constructs and stylistic-semantic entropy, which, allows detecting

manipulative deviations in text after correlating the set of semantic particles with a typical psycholinguistic profile.

The approach of automated discourse analysis was improved based on the advanced ID3 algorithm through the entropy of contextual core's categorical features using the intensional logic rules in order to comply with both corpuscular and wave features of the text, which allows to determine the goals and objectives of information warfare conducting, the tool of which is the studied text and the author's perception of his environment in order to correlate a typical psycholinguistic profile with a specific model of the propagandist's psycholinguistic portrait.

The quantum-semantic psycholinguistic analysis method for the English-language text of propaganda discourse was developed for the first time on the basis of quantum-semantic text analysis by using n-grams for the normal memory allocation and the processing of the semantics core's categorical features, while applying the intensional logic in the psycholinguistics' research tasks that allows taking into account the corpuscular-wave features of the text for constructing a model of propagandist's psycholinguistic portrait and determining the peculiarities of text information perception by him.

A process of defining a function that describes the subjective semantic line of the text and its correlation with the objective semantic line requires further research, as well as a complete attributes' classification of informational and psychological warfare in the context of information propaganda.

The results of the study provide a propagandist's psycholinguistic portrait definition when counterpropaganda conducting through carrying out the further actions of reverse targeted impact on his subconscious, while automating the main processes of the countermeasures' preparatory phase. In addition, it is possible to make text formation through the propagandist's psycholinguistic profile determining based on the results of the study.

References

1. Fuchs, C. (2018), "Propaganda 2.0: Herman and Chomsky's Propaganda Model in the Age of the Internet, Big Data and Social Media", in Pedro-Carañana, J., Broudy, D. and Klaehn, J. (Ed.), *The Propaganda Model Today: Filtering Perception and Awareness*, University of Westminster Press, London, pp. 71-92. DOI: https://doi.org/10.16997/book27.f
2. Poonam G. H. (2013), "Impressive Tool to Communicate in Modern World is the Language English", *International Journal of Social Science and Humanity*, Raipur, No. 3 (3), pp. 319-321.
3. Hryshchuk, R. V., Kankin, I. O. and Okhrimchuk, V. V. (2015), "Technological aspects of information warfare at the present stage", *Ukrainian Information Security Research Journal*, NAU, Kyiv, No. 17 (1), pp. 80-86.
4. Tarasenko, Ya. V. (2019), "Using the principles of quantum linguistics in information warfare", *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, NAU, Kyiv, No. 25 (2), pp. 96-103, DOI: https://doi.org/10.18372/2225-5036.25.13671
5. Obraztsov, V. A. and Bogomolova, S. N. (2002), *Kriminalisticheskaya psihologiya* [Forensic psychology], Unity-Dana, Moscow, 448 p.
6. Gusev, K. Yu. and Burkovskiy, V.L. (2015), "Psiholingvisticheskiy analiz informatsionnyih dannyih [Psycholinguistic analysis of information data]", *Bulletin of Voronezh State Technical University*, VSTU, Voronezh, No. 11 (4), pp. 23-25.
7. Shakhnarovich, A. M. (2011), "Linguistic experiment as a method of linguistic and psycholinguistic research", *Voprosyi psiholingvistiki*, Institute of Linguistics RAS, Moscow, No. 1 (13), pp. 191-195.
8. Peshkova N. P. (2014), "Discourse understanding problems in psycholinguistic and pragmalinguistic aspects", Bulletin of ChSU, Chelyabinsk, No. 6 (335), pp. 73-77.
9. Kučera, D. and Havigerová, J. M. (2016), "Quantitative Psycholinguistic Analysis of Formal Parameters of Czech Text", *SGEM 2016*, Proceedings of the 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences & Arts, Albena, August 22 – 31, Book 1, Vol. 1, pp. 313-320, DOI: https://doi.org/10.5593/SGEMSOCIAL2016/B11/S01.041
10. Kučera, D. "Computational Psycholinguistic Analysis of Czech Text and the CPACT Research", *SGEM 2017: Science & Society Conference*, Proceedings of the 4th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts, Albena, August 22 – 31, Book 3, Vol. 2, pp. 77-84, DOI: https://doi.org/10.5593/sgemsocial2017/32/S11.010
11. Mahlberg M., Conklin K. and Bisson M.-J. (2014), "Reading Dickens's characters: Employing psycholinguistic methods to investigate the cognitive reality of patterns in texts", *Language and Literature*, No. 23(4) pp. 369-388. DOI: https://doi.org/10.1177/0963947014543887
12. Zhao, J., Chevalier, F., Collins, C. and Balakrishnan, R. (2012), "Facilitating Discourse Analysis with Interactive Visualization", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, No. 18 (12), pp. 2639-2648. DOI: https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.226
13. Stegmeier, J. (2012), "Toward a computer-aided methodology for discourse analysis", *Stellenbosch papers in linguistics*, University of Stellenbosch, Stellenbosch, No. 41, pp. 91-114, DOI: https://doi.org/10.5774/41-0-45
14. Tarasenko, Ya. V. (2019), "Determining the coordinates of semantic particle in english text with a known psycholinguist portrait of propagandist", *Ukrainian Information Security Research Journal*, NAU, Kyiv, No. 21 (3), pp. 168-174, DOI: https://doi.org/10.18372/2410-7840.21.13820
15. Perfiliev, A. A., Murzin, F. A. and Shmanina, T. V. (2010), "Methods of syntactic analysis and comparison of constructions of a natural language oriented to use in search systems", *Bulletin NCC: Computer Science*, No. 31, pp. 91-109.
16. Bentz, C., Alikaniotis, D., Cysouw, M. and Ferrer-i-Cancho, R. (2017), "The Entropy of Words – Learnability and Expressivity across More than 1000 Languages", *Entropy*, No. 19(6):275, available at: http://www.mdpi.com/1099-4300/19/6/275/htm, DOI: https://doi.org/10.3390/e19060275
17. Kitamura, T., Ogawa, S. K., Roy, D. S., Okuyama, T., Morrissey, M. D. Smith, L. M. Redondo, R. L. and Tonegawa, S. (2017), "Engrams and circuits crucial for systems consolidation of a memory", *Science*, No. 356 (6333), pp. 73-78, DOI: https://doi.org/10.1126/science.aam6808
18. Nikolaienko, S. and Nikolaienko, S. (2011), "The category of "psychological influence" in psycholog]", *Svitohliad-Filosofiia-Relihiia*, Education and Research Institute for Business Technologies «UAB» of STU, Sumy, No. 1 (1), pp. 76-84.

19. Dowty, D. R., Wall, R. and Peters S. (2012), *Introduction to Montague Semantics*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London, 316 p.
20. Filatov, S. Yu. (2017), "A review of predictive text input methods", *Novyie informatsionnyie tehnologii v avtomatizirovannyih sistemah*, NRU "Higher School of Economics", Moscow, No. 20, pp. 55-61.

Надійшла (received) 22.08.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 23.10.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Тарасенко Ярослав Володимирович – кандидат технічних наук, асистент кафедри інформаційних технологій проектування, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна;
Yaroslav Tarasenko – Candidate of Engineering Sciences, Lecturer Assistant of Department of Information Technology of Designing, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine;
e-mail: yaroslav.tarasenko93@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-5902-8628

Метод квантово-семантичного психолінгвістичного аналізу англомовного тексту пропагандного дискурсу

Я. В. Тарасенко

Анотація. В статті вирішується актуальна наукова задача підвищення ефективності протидії впливу інформаційної пропаганди в англомовних текстах шляхом створення методу квантово-семантичного психолінгвістичного аналізу англомовного тексту пропагандного дискурсу. Предметом дослідження є методи психолінгвістичного аналізу, а також методика забезпечення квантово-семантичного аналізу тексту. Наводиться метод, що складається з п'яти етапів та включає в себе визначення базових психолінгвістичних властивостей, побудову типового психолінгвістичного профілю, виявлення маніпулятивних ознак тексту та співвіднесення їх з психолінгвістичним профілем, визначення технологічної стратегії проведення інформаційного протиборства та формування моделі психолінгвістичного портрету пропагандиста на основі квантово-семантичного аналізу, що за рахунок використання н-грам дозволяє визначати особливості сприйняття тексту пропагандистом. При цьому, було вдосконалено підхід автоматизованого дискурсного аналізу на основі вдосконаленого алгоритму ID3 із застосуванням інтенсіональної логіки. Психолінгвістичні особливості написання тексту саме пропагандистом визначаються шляхом проведення перших двох етапів методу за рахунок вирішення оберненої до визначення координат семантичної частки задачі на основі методу опитування інформанта. Виявлення маніпулятивних ознак у психолінгвістичному портреті проводиться на основі дослідження слідів психологічного впливу в тексті за рахунок аналізу маніпулятивних конструкцій англійської мови та стилістично-семантичної ентропії, що після кореляції множини отриманих семантичних часток з типовим психолінгвістичним профілем дозволяє виявити маніпулятивні відхилення у ньому. Результати дослідження забезпечують визначення психолінгвістичного портрету пропагандиста з метою подальшого проведення дій по здійсненню зворотного цільового впливу на нього з урахуванням його психологічних особливостей для зниження підсвідомого опору та підвищення таким чином ефективності контрпропаганди. Це дозволить підвищити рівень інформаційної безпеки держави.

Ключові слова: психолінгвістичний аналіз; протидія інформаційній пропаганді; квантово-семантичне дослідження; пропагандний дискурс; виявлення психологічного впливу; модель психолінгвістичного портрету.

Метод квантово-семантического психолингвистического анализа англоязычного текста пропагандного дискурса

Я. В. Тарасенко

Аннотация. В статье решается актуальная научная задача повышения эффективности противодействия влиянию информационной пропаганды в англоязычных текстах путем создания метода квантово-семантического психолингвистического анализа англоязычного текста пропагандного дискурса. Предметом исследования являются методы психолингвистического анализа, а также методика обеспечения квантово-семантического анализа текста. Приводится метод, состоящий из пяти этапов, который включает в себя определение базовых психолингвистических свойств, построение типичного психолингвистического профиля, выявления манипулятивных признаков текста и соотнесение их с психолингвистическим профилем, определение технологической стратегии проведения информационного противоборства и формирования модели психолингвистического портрета пропагандиста на основе квантово-семантического анализа, который за счет использования н-грамм позволяет определять особенности восприятия текста пропагандистом. При этом, было усовершенствовано подход автоматизированного дискурсного анализа на основе усовершенствованного алгоритма ID3 с применением интенсиональной логики. Психолингвистические особенности написания текста именно пропагандистом определяются путем проведения первых двух этапов метода за счет решения обратной к определению координат семантической доли задачи на основе метода опроса информанта. Выявление манипулятивных признаков в психолингвистическом портрете проводится на основе исследования следов психологического воздействия в тексте за счет анализа манипулятивных конструкций английского языка и стилистическо-семантической энтропии, что после корреляции множества полученных семантических частиц с типичным психолингвистических профилем позволяет выявить манипулятивные отклонения в нем. Результаты исследования обеспечивают определение психолингвистического портрета пропагандиста с целью дальнейшего проведения действий по осуществлению обратного целевого воздействия на него с учетом его психологических особенностей для снижения подсознательного сопротивления и повышения, таким образом, эффективности контрпропаганды. Это позволит повысить уровень информационной безопасности государства.

Ключевые слова: психолингвистический анализ; противодействие информационной пропаганде; квантово-семантическое исследование; пропагандный дискурс; выявление психологического воздействия; модель психолингвистического портрета.

Intelligent information systems

UDC 004.85 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.10**

D. Hlavcheva, V. Yaloveha, A. Podorozhniak

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

APPLICATION OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR HISTOPATHOLOGICAL ANALYSIS

Abstract. Among all types of cancer, breast cancer is the most common. In 2017 breast cancer was the fourth rate for death reasons in Ukraine. The paper is devoted to the automatization of histopathological analysis, which can improve the process of cancer stage diagnosis. **The purpose** of the paper is to research the ability to use convolutional neural networks for classifying biopsy images for cancer diagnosis. **The tasks** of research are: analyzing cancer statistics in Europe and Ukraine; analyzing usage of Machine Learning in cancer prognosis and diagnosis tasks; preprocessing of BreCaHAD dataset images; developing a convolutional neural network and analyzing results; the building of heatmap. **The object** of the research is the process of detecting tumors in microscopic biopsy images using Convolutional Neural Network. **The subject** of the research is the process of classifying healthy and cancerous cells using deep learning neural networks. **The scientific novelty** of the research is using ConvNet trained on the BreCaHAD dataset for histopathological analysis. The theory of deep learning neural networks and mathematical statistics methods are used. **In result** it is obtained that the classification accuracy for a convolutional neural network on the test data is 0.935, ConvNet was effectively used for heatmap building.

Keywords: deep learning; convolutional neural networks; breast cancer; histopathological analysis; biopsy images; BreCaHAD.

Introduction

Among all types of cancer, breast cancer is the most common. Breast cancer is the second-highest mortality rate after lung and bronchial cancer, and about 30% of newly diagnosed cases are breast cancer [1].

Europe contains 9% of the world population but has a 25% share of the global cancer burden [2]. According to [3] in 2018 the number of new cancer cases is more than 4 million for both sexes and all ages. The first rank of incidence is referring to breast cancer (more than 520 thousand). Total mortality from cancer in 2018 in Europe is almost 2 million for both sexes and all ages. The first rank of mortality is referring to lung cancer (almost 390 thousand). The number of prevalent cases for the 5-year period is more than 12 million for both sexes and all ages.

In Ukraine [4] the number of new cases in 2018 is almost 170 thousand for both sexes and all ages. The number of death is almost 100 thousand. The top types of cancer by incidence and mortality in Ukraine is consistent with Europe.

According to [5] breast cancer is the fourth rate in death reasons in Ukraine. In 2017 the age-adjusted Death Rate is 20.79 per 100,000 of population ranks Ukraine is rank #48 in the world.

The big amount of cases causes the appearance of large amounts of data, the analysis of which can be used for diagnosis, understanding the causes of diseases, patients risk groups, etc.

Nowadays, Machine Learning is widely used for big data structures processing. The ability of ML tools to detect key features in complex data sets shows their importance. Various methods, including artificial neural networks (ANN), Bayesian networks (BN), Support vector machines (SVMs) and Decision Trees (DTs) are widely used in cancer research and helps in efficient and accurate decision making [6].

In [7] breast cancer survival predicted by the DT algorithm. It was trained on the SEER database [8] (200 thousand cases have been used) and resulted accuracy was 0.93. In [9] Multiple myeloma cancer susceptibility predictions have been made on SNPs data [10] with 0.71 resulted accuracy.

ML technics are being used mostly for prediction tasks. Processing of clinical images (results of different diagnostics types) needs ANN, particularly, Deep Learning.

Convolutional Neural Network (ConvNet) for brain tumor detection used in [11]. It processes MRI images and gets 0.99 train accuracy and 0.986 validation accuracy. In [12] Computer Tomography images have been processed by 3D - ConvNet and result AUC was 0.83.

For breast cancer diagnosis biopsy images, thermal images and mammography images analyzing are being used. In [13] Multi-Scale CNN has been used for mammography classification (Digital Database for Screening Mammography [14]) and get AUC = 0.92. The study [15] presents a computer-aided diagnosis system based on convolutional neural networks as an alternative diagnosis methodology for breast cancer diagnosis with thermal images. Resulted accuracy for CNN was 0.86.

The purpose of the paper is to research the ability to use convolutional neural networks for classifying biopsy images for cancer diagnosis.

In the paper, the Convolutional Neural Network is used to solve the problem of detecting healthy and cancerous cells in microscopic biopsy images. The heatmap will be built. Such an approach can improve the process of cancer stage diagnosis.

1. Convolutional Neural Networks

Convolutional Neural Network it is a deep learning approach for data, particulary image, processing.

Deep Learning concept was first known as hierarchical learning at the [16].

Deep learning uses data processing by several layers of neurons in such a way that each layer highlights certain features and gives it to the next layer for processing. Such an architecture makes it possible to generalize input data [17]. Until 2012 in the field of computer vision, neural networks were better known for their tendency for overfitting than the ability to solve complex problems of visual recognition. In 2012 ConvNets show good result in ImageNet competition [18] and attracted attention to their usage for image processing [19].

Convolutional neural network was developed by Yann LeCun in 1988 [20]. ConvNet were created on the basis of "simple cells" in human brain. Such cells were discovered in 1960s by Torsten Nils Wiesel and David Habel [21].

The architecture of a typical ConvNet has several parts. The first few parts consist of two types layers: convolutional layers and pooling layers. Convolutional layers consist of feature cards, each of them has a set of weights called a filter bank. The local weighted sum at the output of these 2 layers is then transmitted via non-linearity, such as ReLu. Each feature map with its own filter bank by the sliding window method is applied to the entire input image.

Firstly, such an architecture makes it possible to identify local features. Secondly, the removal of features does not depend on the location of the objects. In other words, an object can appear in any part of the image and, thanks to feature maps, will be found. The mathematical operation performed is a discrete convolution [22].

Convolution is a mathematic operation on two functions $f(x)$ and $g(x)$ that produces a third function. Having two-dimensional image, I and array K with size h×w (also called as convolution kernel) convolute image $I*K$ is calculated by putting the kernel on image. The sum of the multiplied elements of output image and kernel is written [23]:

$$(I * K)_{xy} = \sum_{i=1}^{h} \sum_{j=1}^{w} K_{ij} \times I_{x+i-1,y+j-1}. \quad (1)$$

Although the role of the convolutional layer is to detect local conjunctions of features from the previous layer, the role of the pooling layer is to merge semantically similar features into one. The most used pooling type is MaxPooling [22].

Pairs of Convolutional and Pooling layers followed by several Fully Connected layers.

ConvNet has tendency to overfitting. There are some methods to avoid it.

Dropout prevents overfitting and provides a way of approximately combining exponentially many different neural network architectures efficiently. The term "dropout" refers to dropping out units (hidden and visible) in a neural network [24]. In this layer with probability of p the neuron is excluded from the network at the time of current iteration [25].

Data augmentation is a key element in training high-dimensional models. In this approach, one synthesizes new observations by applying pre-specified transformations to the original training data. In practice, data augmentation is a manual process, where a human specifies a small set of transformations; for image classification tasks, these are most commonly chosen to be simple linear transformations such as translations, rotations and scaling. [26].

2. Data

Histopathological tissue analysis by a pathologist plays an important role in the diagnosis and prognosis of breast cancer. The diagnosis of biopsy tissue with hematoxylin and eosin-stained images is non-trivial and specialists often disagree on the final diagnosis [27].

In the research, BreCaHAD (breast cancer histopathological annotation and diagnosis dataset) has been used [28]. This dataset provides 162 breast cancer histopathology images. The dataset includes various malignant cases. The task for researchers, proposed for this dataset is automated classifying histological structures in hematoxylin and eosin (H&E) stained images into six classes: tumor nuclei, non-tumor nuclei, apoptosis, mitosis, tubule, and non-tubule.

The BreCaHAD dataset contains microscopic biopsy images in uncompressed (.TIFF) image format, three-channel RGB with 8-bit depth in each channel, and the dimension is 1360 × 1024 pixel and each image is annotated. Anotation corresponds to the marked objects of 6 classes and provided in json format [29].

Example of image with annotated objects is presented in Fig. 1.

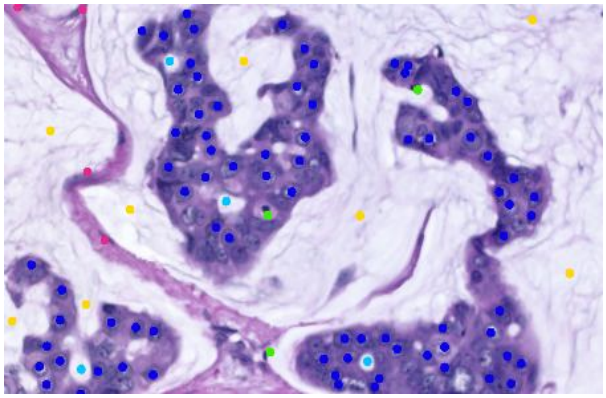


Fig. 1. Annotated image from BreCaHAD dataset

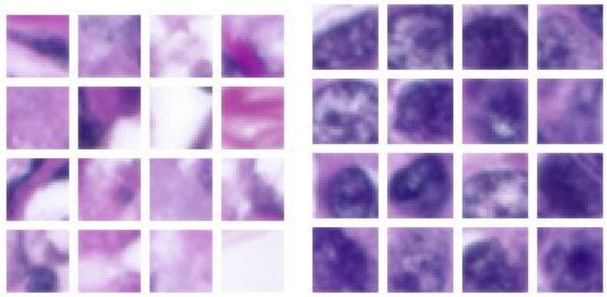
For Convolutional Neural Network images from BreCaHAD have been sliced into 32×32 pixel size. All images were divided into 2 groups:

- Tumor: according to "tumor" objects in annotations;
- Non-tumor: image fragments where annotated objects aren't appearing.

Total number of images was 40000. Sample images for both groups are shown in Fig. 2.

All images were divided into 3 datasets:

- Training – 14000 images (70%);
- Validation – 3000 images (15%);
- Test – 3000 images (15%).



a b

Fig. 2. Examples of ConvNet input images (a – tumor, b – non-tumor)

Each image has been normalized: each pixel value was correlated to the gap [0;1].

3. Results and Discussions

For developing ConvNet Python 3.6 was used as programming language. For Neural Network compiling, training and evaluating Keras version 2.2.4 with Tensorflow backend version 1.12.0 was used.

For experiment Convolutional Neural Network has been compiled. It's structure is shown at the Table 1. Total number of parameters – 171105. ReLu activation function was used in ConvNet. As optimization algorithm Adam was used.

Table 1 – Structure of the experiment

Type	Input	Output	Para-meters
1. Convolutional	(32x32x3)	(30x30x32)	896
2. MaxPooling	(30x30x32)	(15x15x32)	0
3. Convolutional	(15x15x32)	(14x14x32)	4128
4. MaxPooling	(14x14x32)	(14x14x32)	0
5. Convolutional	(12x12x64)	(12x12x64)	18496
6. MaxPooling	(12x12x64)	(6x6x64)	0
7. Flattening	(6x6x64)	2304	0
8. Fully Connected	2304	64	16448
9. Dropout	64	64	0
10. Fully Connected	64	1	65

ConvNet was trained during 30 epochs with batch size - 16. Accuracy and loss on training data is shown in Fig. 3, on validation data – in Fig. 4.

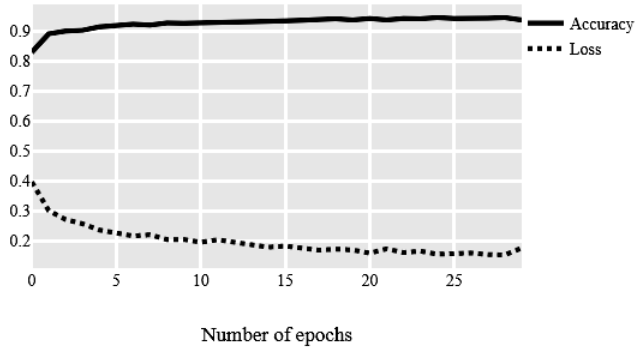


Fig. 3. Accuracy and loss on training data

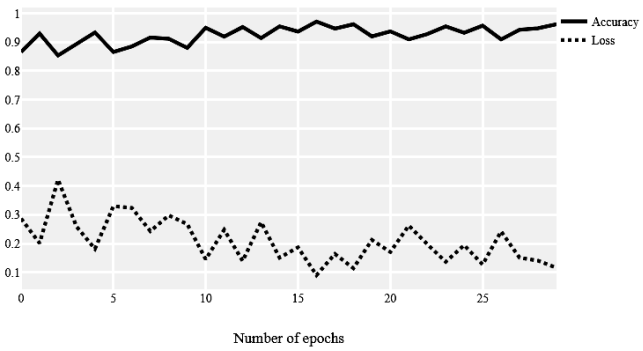


Fig. 4. Accuracy and loss on validation data

Accuracy on train data is 0.935. It is obtained that ConvNet can effectively classify objects in this task.

Heatmap for full image from dataset (1036×1024 pixel) was built. Results are shown on Fig. 5. Heatmap was built using floating window method with step size 8 pixels.

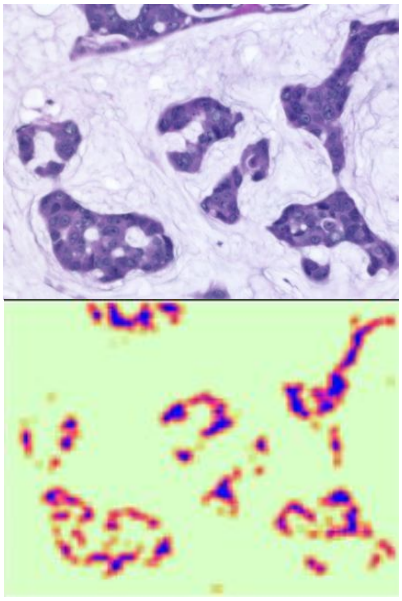


Fig. 5. Heatmap

In [27] authors used 512×512 pixel with 3 RGB-channels biopsy images as input data for ConvNet. ConvNet has 4 pairs of convolutional and maxpooling layers and 3 fully-connected layer. And get result 0.778 for four classes classification. In our work accuracy is higher because of less number of classes. Binary classification was held in [1]. CNN classified biopsy images 350×230 to Benign or Malignant with accuracy 0.934. ConvNet has almost the same architecture as in our research, but with bigger amount of feature maps in convolutional layers. Similarity in architecture and the same task (binary classification) is the reason of similar results.

Conclusions

In the world breast cancer is the most common. In Ukraine, in 2018 the number of new breast cancer cases is almost 19 thousand, and the number of death is more than 8 thousand [4].

The Machine Learning approach is widely used in cancer prediction and diagnosis researches. In the paper

examples of cancer prediction and medical images analysis are shown. ConvNet is an effective instrument for image classification, but it is important to pay attention to the overfitting problem. BreCaHAD dataset can be effectively used for solving the task of histopathological analysis automatization.

In this paper, Convolutional Neural Networks was used for microscopic biopsy images classifying. Classification accuracy on test data obtained 0.935. We showed that trained ConvNet can be used for heatmap building. Such an approach can improve the process of cancer stage diagnosis. Results have been compared with related works.

In future work, we are going to increase dimensions of input images, make multiclass classification, pay more attention to overfitting problem and use a detection algorithm that determines the specific location of objects with specific probability.

REFERENCES

1. Dabeer, S., Khan, M. M. and Islam, S. (2019), "Cancer diagnosis in histopathological image: CNN based approach", *Informatics in Medicine Unlocked*, 16, article 100231.
2. Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Dyba, T., Randi, G., Bettio, M., Gavin, A., Visser, O. and Bray, F. (2018), "Cancer incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018", *European Journal of Cancer,* 103, pp. 356-387.
3. *International Agency for Research of Cancer, World Health Organization Europe: Europe – Global Cancer Observatory* (2018), available at: https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/908-europe-fact-sheets.pdf.
4. *International Agency for Research of Cancer, World Health Organization Europe: Ukraine – Global Cancer Observatory* (2018), available at: https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/populations/804-ukraine-fact-sheets.pdf.
5. *World health rankings: Breast Cancer in Ukraine* (2017), available at: https://www.worldlifeexpectancy.com/ukraine-breast-cancer.
6. Konstantina Kourou, Themis P.Exarchos, Konstantinos P.Exarchos, Michalis V.Karamouzis and Dimitrios I.Fotiadi (2014), "Machine learning applications in cancer prognosis and prediction", *Computational and structural biotechnology journal,* 13, pp. 8-17.
7. Delen, D., Walker, G. and Kadam, A. (2005), "Predicting breast cancer survivability: a comparison of three data mining methods", *Artificial intelligence in medicine,* 34(2), pp. 113-127.
8. *SEER Incidence Database - SEER Data & Software* (2019), available at: https://seer.cancer.gov/data/.
9. Waddell, M., Page, D. and Shaughnessy Jr, J. (2018), "Predicting cancer susceptibility from single-nucleotide polymorphism data: a case study in multiple myeloma", *Proceedings of the 5th international workshop on Bioinformatics*: ACM, pp. 21-28.
10. *SNP – NCBI* (2019), available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/snp/.
11. Sawant, A., Bhandari, M., Yadav, R., Yele, R. and Bendale, M.S. (2018), "Brain cancer detection from mri: A machine learning approach (tensorflow)", *Brain,* 5(04).
12. Alakwaa, W., Nassef, M. and Badr, A. (2017), "Lung cancer detection and classification with 3D convolutional neural network (3D-CNN)", *Lung Cancer,* 8(8), pp. 409.
13. Lotter, W., Sorensen, G. and Cox, D. (2017), "A multi-scale CNN and curriculum learning strategy for mammogram classification", *Deep Learning in Medical Image Analysis and Multimodal Learning for Clinical Decision Support*: Springer, pp. 169-177.
14. Heath, M., Bowyer, K., Kopans, D., Moore, R. and Kegelmeyer, W. P. (2000), "The digital database for screening mammography", *Proceedings of the 5th international workshop on digital mammography*: Medical Physics Publishing, pp. 212-218.
15. Zuluaga-Gomez, J., Masry, Z. A., Benaggoune, K., Meraghni, S. and Zerhouni, N. (2019), "A CNN-based methodology for breast cancer diagnosis using thermal images", *arXiv preprint arXiv:1910.13757*.
16. Bengio, Y. (2009), "Learning deep architectures for AI", *Foundations and trends® in Machine Learning,* 2(1), pp. 1-127.
17. Kuchuk, H., Podorozhniak, A., Hlavcheva, D. and Yaloveha, V. (2019), "Application of Deep Learning in the Processing of the Aerospace System's Multispectral Images", *Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries*, IGI Global, pp. 134-147.
18. *Imagenet large scale visual recognition challenge* (2013), available at: http://www.image-net.org/challenges/LSVRC/2013/.
19. Azizpour, H., Razavian, A. S., Sullivan, J., Maki, A. and Carlsson, S. (2015), "'Factors of transferability for a generic convnet representation"', *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence,* 38(9), pp. 1790-1802.
20. LeCun, Y. (1989), "Generalization and network design strategies", *Connectionism in perspective*: Citeseer.
21. Hubel, D. H. and Wiesel, T. N. (1962), "'Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex'", *The Journal of physiology,* 160(1), pp. 106-154.
22. LeCun, Y., Bengio, Y. and Hinton, G. (2015), "Deep learning", *nature*, No. 521 (7553), pp. 436-444, available at: https://doi.org/10.1038/nature14539.
23. Liubchenko, N., Podorozhniak, A. and Bondarchuk, V. (2017), "Neural network method of intellectual processing of multispectral images", *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 39-44, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.07.
24. Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Salakhutdinov, R. (2014), "Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting", *The journal of machine learning research,* 15(1), pp. 1929-1958.
25. Yaloveha, V., Hlavcheva, D., Podorozhniak, A. and Kuchuk, H. (2019), "Fire Hazard Research of Forest Areas based on the use of Convolutional and Capsule Neural Networks", *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, IEEE, pp. 828-832.
26. Hauberg, S., Freifeld, O., Larsen, A. B. L., Fisher, J. and Hansen, L. (2010), "Dreaming more data: Class-dependent distributions over diffeomorphisms for learned data augmentation", *Artificial Intelligence and Statistics*, pp. 342-350.
27. Araújo, T., Aresta, G., Castro, E., Rouco, J., Aguiar, P., Eloy, C., Polónia, A. and Campilho, A. (2017), "Classification of breast cancer histology images using convolutional neural networks", *PloS one,* 12(6), article e0177544.

28. *BreCaHAD: A Dataset for Breast Cancer Histopathological Annotation and Diagnosis* (2019), available at: https://figshare.com/articles/BreCaHAD_A_Dataset_for_Breast_Cancer_Histopathological_Annotation_and_Diagnosis/7379186.
29. Aksac, A., Demetrick, D. J., Ozyer, T. and Alhajj, R. (2019), "BreCaHAD: a dataset for breast cancer histopathological annotation and diagnosis", *BMC research notes,* 12(1), pp. 82.

Надійшла (received) 29.09.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Главчева Дар`я Максимівна – студентка кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Daria Hlavcheva – student of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: agafina99@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-6990-6845

Яловега Владислав Анатолійович – магістрант кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Vladyslav Yaloveha – master student of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: vladyslavyaloveha@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-7109-9405

Подорожняк Андрій Олексійович – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;
Andrii Podorozhniak – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computer Science and Programming Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: andriipodorozhniak@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6688-8407

Використання згорткових нейронних мереж для гістопатологічного аналізу

Д. М. Главчева, В. А. Яловега, А. О. Подорожняк

Анотація. Серед усіх видів раку найпоширенішим є рак молочної залози. У 2017 році рак молочної залози став четвертою причиною смертності в Україні. Стаття присвячена автоматизації гістопатологічного аналізу, що може покращити процес діагностики стадії раку. **Мета статті** - дослідити можливість використання згорткових нейронних мереж для класифікації зображень біопсії для діагностики раку. Відповідно до мети поставлено такі **завдання**: аналіз статистики захворюваності на рак в Європі та Україні; аналіз використання машинного навчання для завдань прогнозування та діагностики раку; попередня обробка зображень набору даних BreCaHAD; навчання згорткової нейронної мережі та аналіз результатів; побудова теплової карти. **Об'єктом** дослідження є процес виявлення пухлин на мікроскопічних зображеннях біопсії за допомогою згорткових нейронних мереж. **Предметом** дослідження є процес класифікації здорових та ракових клітин за допомогою нейронних мереж глибокого навчання. **Науковою новизною** дослідження є використання згорткової нейронної мережі, навченої на наборі даних BreCaHAD для виконання гістопатологічного аналізу. Використовуються теорія нейронних мереж глибокого навчання та методи математичної статистики. **В результаті** отримано, що точність класифікації згорткової нейронної мережі за тестовими даними становить 0,935, ця мережа може бути ефективно використана для побудови теплової карти.

Ключові слова: глибоке навчання; згорткові нейронні мережі; рак молочної залози; гістопатологічний аналіз; біопсія; BreCaHAD.

Использование сверточных нейронных сетей для гистопатологического анализа

Д. М. Главчева, В. А. Яловега, А. О. Подорожняк

Аннотация. Среди всех видов рака наиболее распространенным является рак молочной железы. В 2017 году рак молочной железы стал четвертой причиной смертности в Украине. Статья посвящена автоматизации гистопатологического анализа, что может улучшить процесс диагностики стадии рака. **Цель** статьи - исследовать возможность использования сверточных нейронных сетей для классификации изображений биопсии для диагностики рака. В соответствии с целью поставлены следующие **задачи**: анализ статистики заболеваемости раком в Европе и Украине; анализ использования машинного обучения для задач прогнозирования и диагностики рака; предварительная обработка изображений набора данных BreCaHAD; обучение сверточной нейронной сети и анализ результатов; построение тепловой карты. **Объектом** исследования является процесс выявления опухолей на микроскопических изображениях биопсии с помощью згорткових нейронных сетей. **Предметом** исследования является процесс классификации здоровых и раковых клеток с помощью нейронных сетей глубокого обучения. **Научной новизной** исследования является использование сверточной нейронной сети, обученной на наборе данных BreCaHAD для выполнения гистопатологического анализа. Используются теория нейронных сетей глубокого обучения и методы математической статистики. **В результате** получено, что точность классификацией згорткових нейронной сети с тестовыми данными составляет 0,935, эта сеть может быть эффективно использована для построения тепловой карты.

Ключевые слова: глубокое обучение; сверточные нейронные сети; рак молочной железы; гистопатологический анализ; биопсия; BreCaHAD.

УДК 004.93'1 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.11**

О. В. Гороховатський, О. О. Передрій

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Харків, Україна

АНСАМБЛЬ ДРІБНИХ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ СТАТІ ЛЮДИНИ У ВІДЕОПОТОЦІ

Анотація. Предметом досліджень є нейромережеві моделі класифікації статі особи на зображенні обличчя при обробці відеопотоку. **Метою** є дослідження ефективності окремих дрібних згорткових мереж та ансамблів, що створені з них, для вирішення задачі класифікації статі людини у відеопотоці, що обробляється як послідовність окремих фреймів. **Завданнями є** розробка математичних моделей обробки послідовностей фреймів із накопичуванням за різними стратегіями, дослідження їх ефективності при вирішення задачі класифікації, компіляція ансамблів дрібних згорткових нейронних мереж. Застосовуваними **методами** є: моделі нейронних мереж, інтелектуальний аналіз даних, математична статистика, функціональний аналіз, комп'ютерне моделювання. Отримані **результати**: показано, що точність класифікації може бути підвищена як за рахунок використання різних моделей голосування результатів окремих фреймів, так і за рахунок використання ансамблів неглибоких загорткових нейронних мереж. Незначні апаратні та програмні ресурси, необхідні для їх навчання та використання, дають можливість підвищити швидкість класифікації в декілька разів порівняно із результатами класифікації нейронними мережами, що мають складнішу архітектуру. **Висновки. Наукова новизна** полягає у створенні ансамблів неглибоких нейронних мереж, загальне рішення в яких приймається після узагальнення різними методами голосування з довірою як результатів класифікації окремих фреймів, так і результатів класифікації одного і того ж фрейму різними мережами, що дає можливість підвищити надійність та швидкість класифікації. **Практична значущість** роботи полягає у створенні метода, що дає можливість зберегти прийнятний рівень точності класифікації та значно пришвидшити процес класифікації за рахунок використання неглибоких архітектур нейронних мереж.

Ключові слова: ансамбль; неглибокі нейронні мережі; детектування облич; класифікація статі; розпізнавання зображень; згорткові нейронні мережі; голосування із довірою; агрегація; фрейм; відеопотік.

Вступ

Задачі, пов’язані із автоматичним аналізом відеопотоків, набули надзвичайної популярності в останнє десятиліття завдяки синхронному швидкому розвитку різних напрямків та технологій штучного інтелекту та відповідної апаратної складової. Класифікація статі людей у відеопотоці може бути корисною в різних комерційних та рекламних застосунках, збиранням статистики покупців, адаптації об’єктів доповненої реальності тощо. Кількість різних наукових досліджень щодо класифікації статі за зображенням чи відео залишається величезною в останні роки. Більшість з підходів, що існують, використовують умовні два етапи – пошук характерних ознак та їх порівняння. Обидва з них можуть бути реалізовані як із застосуванням штучних нейронних мереж (ШНМ), так і без них.

Згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) є сучасним напрямком у вирішенні різних проблем аналізу зображень, таких як аналіз, класифікація, розпізнавання тощо. Було запропоновано багато різних архітектур CNN [1, 2, 3], але більш розповсюдженим є використання попередньо відомих та навчених реалізацій мереж типу VGG [4, 5]. Глибокі архітектури нейронних мереж і CNN з десятків шарів вимагають налаштувань багатьох параметрів, а також значну кількість часу для навчання, тому кількість робіт про компактні (дрібні) архітектури нейронних мереж невпинно зростає [6, 7-9] останнім часом. Доцільною видається побудова компактних та водночас якісних ШНМ, які можуть використовуватися на звичайному домашньому персональному комп’ютері. Приклади реалізацій подібних дрібних мереж можна знайти в [10, 11, 12]. Наприклад, у [12] запропоновано і оцінено CNN (названу GenderCNN), що складається лише з трьох згорткових та двох повнозв'язних шарів. Використання ансамблю дрібних CNN з усередненням їхніх виходів для прийняття спільного рішення розглянуто в [10]. Інші результати досліджень про залежність якості класифікації від глибини CNN, а також залежність ефективності класифікації від розміру вікна, що обмежує область із обличчям, представлені в [11]. Варто зазначити, що більшість робіт описують експериментальне моделювання на відносно малих наборах даних, що не дозволяє зрозуміти стабільність наведених результатів.

Багато досліджень описують в основному параметри архітектури CNN та їх налаштування, але не враховують можливі переваги від аналізу послідовностей кадрів і можливих зв'язків між кадрами. Наприклад, у випадку, коли кожний кадр класифікується окремо, можуть виникати помилки класифікації [13, 14]. Крім того, результати, наведені в роботі [14], показують, що якість класифікації може бути підвищена за рахунок накопичування результатів класифікації окремих кадрів.

Основні ідеї цієї роботи стосуються тренування дрібних CNN і застосування їх окремо та в ансамблях для класифікації статі людини за зображенням обличчя, захопленого з безперервного відеопотоку в реальному часі.

Наукова новизна полягає у створенні ансамблів неглибоких нейронних мереж, загальне рішення в яких приймається після узагальнення різними методами голосування з довірою як результатів класифікації окремих фреймів, так і результатів класифікації одного і того ж фрейму, що дає можливість підвищити надійність та швидкість класифікації.

Дрібні згорткові нейронні мережі

Архітектуру CNN будемо вважати дрібною. якщо її можна вдало навчити за декілька годин і швидко використовувати, обмежуючись лише не більш як десятьма шарами [7]. Структура традиційної CNN зазвичай являє собою послідовність різних типів шарів, що дозволяє застосовувати конкретні операції на кожному етапі обробки початкового зображення. CNN зазвичай включає в себе згортку, максимізаційне агрегування, відкидувальні та повноз'єднані шари, і наші мережі включають всі ці шари.

Оператор згортки в комп'ютерному зорі і в програмах обробки зображень в основному використовується в якості фільтра, що дозволяє отримати характерні особливості зображення. Згортання означає сканування зображення піксель на пікселем за допомогою накладання на окіл пікселя вікна ядра K розміру $k \times k$ і обчислення нових значень згорнутого зображення. Різні значення ядра K дозволяють застосовувати різноманітність специфічних фільтрів, таких як різкість, розмиття, виявлення країв і т.д. Агрегування (максимізаційне або усереднювальне) є популярним методом зменшення розмірності, який залишає лише більш цінні значення ознак.

Повнозв'язні (щільні) шари зазвичай використовуються для узагальнення особливостей після попередніх шарів обробки. Навчання щільних шарів відбувається повільніше порівняно з шарами інших типів, тому видається доцільним використовувати тільки один чи два таких шари в дрібних архітектурах ШНМ. Відкидувальні шари використовуються для запобігання перенавчанню і прискорення процесу навчання, їх ідея полягає в тому, щоб встановити нульові вагові значення для деякої кількості випадкових вхідних нейронів. В нашому випадку ми відкидали половину таких нейронів. Існує багато різних функцій активації, але ми використовували лише два типи. Нейрони у внутрішніх шарах використовують активацію випрямляча згідно з

$$f(x) = \max(0, x),$$

де x – вхід з попереднього нейрона. Таку активацію можна використовувати, щоб зробити навчання швидшим завдяки простому градієнту і дещо ефективнішим через нульову реакцію на негативні входи. Останні повнозв'язні шари використовують сигмовидну активацію

$$f(x) = 1/(1+e^{-x})$$

для отримання значення виходу в діапазоні від 0 до 1.

Розглянемо використання різних архітектур дрібних загорткових мереж (рис. 1), які містять два шари згортки, два агрегувальних і три щільних шари (включно із останнім). Крім того, між ними було використано три відкидувальних шари для зменшення можливості перенавчання. На рис. 1 наведено три різні архітектури нейронних мереж, які відрізняються кількістю фільтрів на першому етапі (для першої мережі було використано 32 фільтри, другої – 40, третьої – 48). Розмір вхідного зображення для двох перших архітектур склав 32x32 пікселя, для останньої – 64x64.

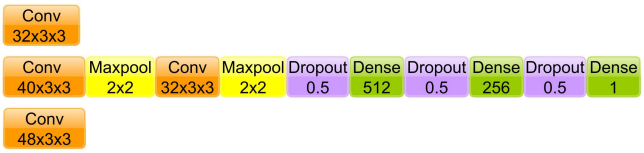


Рис. 1. Архітектури дрібних мереж

Тренування

Набір даних Labeled Face in the Wild [15, 16] (LFW) з глибоким вирівнюванням був використаний для навчання запропонованих дрібних нейронних мереж. Цей набір даних містить 13233 зображення (2966 жіночих і 10267 чоловічих). Цей набір є незбалансованим, тож ми створили його збалансовану модифікацію, яка містить всі 2966 жіночих зображення і таку саму кількість випадкових зображень з обличчями чоловіків, 75% цих зображень використовуються під час навчання і перевірки, а інші 25% використовуються для тестування.

Під час навчання кожної з наведених раніше трьох неглибоких нейронних мереж було виконано 30 ітерацій (кожна з яких складалася з 5 епох), розмір валідаційного набору склав 30% від загального. Лише одне обличчя на кожному зображенні було оброблено, для кожного такого фрагменту зображення з обличчям навколо нього було створено додаткову рамку розміром у 20% від величини фрагменту. Знаходження обличчя було реалізовано з використанням каскадного класифікатора на основі Хаара [17] з коефіцієнтом масштабування 1,3 та 5 мінімальними номерами кожного кандидата з прямокутним обличчям, реалізованого в OpenCV 2.4.13. [18]. Якщо детектор не знайшов обличчя, ціле зображення було використано замість регіону з обличчям.

Точність навчених дрібних мереж було протестовано на наборах даних CelebA [19] і Adience [20]. Важливо відзначити, що запропоновані мережі не були натреновані на цих наборах, а просто перевірені. Під час обробки обох цих наборів даних ми залишили тільки зображення з обличчями (знайдені і обрізані з використанням описаної вище процедури), зокрема, обличчя були знайдені на 182298 зображеннях з 202599 (близько 90%) для набору даних CelebA. 9615 з 19370 (близько 49%) зображень набору даних Adience були протестовані після виключення зображень з дітьми (до 13 років) і невизначеною статтю. Результати класифікації, отримані при використанні цих мереж, наведено в таблиці 1. Не дивлячись на те, що перша мережа обробляє менший початковий розмір зображення та має меншу кількість ядер у першому згортковому шарі, порівняно із третьою, вона дає кращі результати.

Таблиця 1 – **Точність класифікації для дрібних мереж 1-3**

Архітектура	Успішність класифікації		
	LFW (тестовий набір)	CelebA	Adience
1	93,93%	90,91%	79,38%
2	95,08%	91,63%	80,38%
3	91,1%	84,59%	80,58%

Агрегування окремих результатів

Описані вище дрібні моделі CNN для класифікації статі використовуються в режимі онлайн, що означає, що зображення надходять один за одним і обробляються негайно. Передбачається наявність тільки однієї людини в кадрі, а кадри без облич автоматично ігноруються.

Метод виявлення очей на зображенні використовується для запобігання помилкового виявлення облич, оскільки кількість таких помилок може бути значною залежно від відео та значень параметрів детектора облич.

Найпоширенішим підходом у багатьох роботах є класифікація незалежних кадрів відеопотоку, тому цей метод будемо використовувати в якості основного для порівняння.

Надійним способом підвищення точності класифікації є використання голосування або деяке усереднення результатів класифікації, отриманих з різних джерел або при різних умовах. Під голосуванням ми маємо на увазі прийняття рішення, яке базується не тільки на результаті класифікації поточного кадру, але і на результатах останніх N кадрів, де N – константа, яка встановлюється до початку класифікації. Значення з останнього шару CNN використовується як рішення для розбиття між чоловічим і жіночим класами.

Визначимо порогову функцію $f_1(\mathrm{y})$, результати якої агрегуються для створення функції прийняття рішень $D_1(f(\mathrm{y}))$:

$$f_1(\mathrm{y}) = \begin{cases} 1, \mathrm{y} \ge 0.5 \text{ (чоловік)}; \\ 0, \mathrm{y} < 0.5 \text{ (жінка)}; \end{cases}$$

$$D_1(f(\mathrm{y})) = \begin{cases} 1, & \sum_{\mathrm{l}=1}^{N} f_1(\mathrm{y}_i) > N/2 \text{ (чоловік)}; \\ 0 & \text{(жінка)}, \end{cases} \quad (1)$$

де y_i – вихідне значення для кадру i (тут і пізніше ми називаємо i останнім відомим кадром, $i+1$ попереднім і так далі).

Такий підхід є традиційним способом збору інформації з різних джерел і об'єднання в єдине вихідне значення шляхом голосування.

Модель голосування (1) не включає жодної інформації про рівень впевненості результату класифікації, тому розглянемо іншу модель голосування достовірностей для формування значення рішення

$$f_2(\mathrm{y}) = \begin{cases} \mathrm{y} - 0.5, \mathrm{y} \ge 0.5 \text{ (чоловік)}; \\ 0.5 - \mathrm{y}, \mathrm{y} < 0.5 \text{ (жінка)}; \end{cases}$$

$$D(f_2(\mathrm{y})) = \begin{cases} 1, \sum_{\mathrm{l}=1}^{N} f_2^{mal}(\mathrm{y}_i) > \sum_{\mathrm{l}=1}^{N} f_2^{fem}(\mathrm{y}_i) \text{ (чоловік)}; \\ 0 \text{ (жінка)}, \end{cases} \quad (2)$$

де $f_2^{mal}(y)$, $f_2^{fem}(y)$ – окремі функції для чоловічого і жіночого класів відповідно.

Наприклад, якщо значення результату класифікації неглибокої CNN становить 0,49, то правильний клас обличчя на зображенні є жіночим (якщо виходити з того, що мережу натреновано для класифікації реальних жіночих зображень як 0 і чоловічих зображень як 1, природній поріг прийняття рішення становить 0,5), але рівень довіри такої класифікації є низьким і дорівнює 0,5 – 0,49 = 0,01.

Експериментальне моделювання всіх вищевикладених підходів виконувалося на відеопотоці в режимі онлайн, коли рішення відразу ж приймається, коли це можливо. Накопичення значень функціоналів $D_1(f(\mathrm{y}))$ та $D_2(f(\mathrm{y}))$ припиняються і починаються з нуля знову, якщо обличчя втрачено під час обробки, наприклад, зустрівся кадр без обличчя. Після того, як нові значення $f_1(\mathrm{y})$, $f_2^{mal}(y)$, та $f_2^{fem}(y)$ накопичено протягом обробки останніх N кадрів, нове значення додається до накопичувача тільки після видалення найбільш застарілого, тому для прийняття рішення завжди використовуються тільки результати класифікації останніх N кадрів. Якщо поточна кількість накопичених кадрів менше, ніж N, рішення не приймається, що призводить до ігнорування деяких кадрів без класифікації.

Результати експериментальних досліджень

Якість класифікації з використанням (1) і (2) потрібно перевірити на такому наборі відеоданих, який має коректні позначки статі для окремих кадрів або цілих відеофрагментів і є достатньо великим, але відповідний набір знайти важко.

Таким чином, експерименти виконано на зібраному нами наборі 92 фрагментів відео, кожен з яких містить лише одну людину (або більше осіб з однаковою статтю). Ці відео взято з різних онлайн-курсів і інтерв'ю, майже всі вони містять стабільний фон. 41 з цих фрагментів містять відео жінок, 51 – чоловіків.

Етап виявлення очей під час обробки відео з динамічним фоном і різними локаціями здається дуже важливим, тому прямокутну область ми вважатимемо за обличчя, тільки якщо знайдено положення очей у ній. З іншої точки зору, обробка може бути набагато швидше без цієї стадії, якщо фон є сприятливим для обраних параметрів детектора обличчя.

Загальна кількість кадрів у нашому наборі даних склала 1 793 529, 991 312 з яких – у відео із чоловіками, 802 217 – із жінками. 564 238 чоловічих та 450 403 жіночих зображень було вдало ідентифіковано як області з обличчями та очима одночасно.

Кількість відкинутих через агрегування кадрів для цього набору даних становить приблизно 10% для випадків з N = 10 і приблизно 15%, якщо N = 20. Ці значення є трохи вищими для відео із чоловіками, що означає, що відео з жіночими обличчями є більш стабільними і кадри з обличчям втрачаються частіше при детектуванні чоловічих облич.

Результати класифікації зображень осіб з використанням першої з побудованих нейронних мереж наведені в табл. 3.

Таблиця 2 – **Класифікація статі у відеопотоці дрібною мережею із застосуванням першої архітектури**

Метод	Всі зображення	Чоловіки	Жінки
Незалежні кадри	84.94%	92.06%	76.10%
Голосування (N=10)	86.87%	92.78%	79.75%
Голосування (N=20)	87.68%	92.84%	81.55%
Голосування із довірою (N=10)	86.91%	92.83%	79.81%
Голосування із довірою (N=20)	87.72%	92.86%	81.60%

Як можна побачити, процедура голосування дозволяє отримати кращі результати порівняно з класифікацією кожного кадру незалежно у всіх випадках, а випадки з більшою кількістю останніх кадрів N = 20 перевершують відповідні з N = 10. Варто зауважити, що голосування з агрегацією із рівнем довіри згідно з (2) було кращим, ніж просто голосування (1) у всіх випадках.

Час класифікації, необхідний для запропонованих дрібних CNN, можна порівняти із існуючою CNN [21], що відноситься до архітектури wide residual networks [22].

Варто зауважити, що CNN з [21] містить 24 456 656 навчальних параметрів, тоді як третя з наших дрібних архітектур (найпотужніша) – 3 358 561. Обидві ці мережі отримують вхідне зображення розміром 64x64 пікселів, середній час класифікації зображення для WideResNet склав 0,37 секунди, нашої мережі – 0,004 секунди.

Ансамблі мереж

Швидкість класифікації, що забезпечується використанням дрібних CNN, дозволяє будувати мережеві ансамблі, що не тільки робить обробку відеопотоку більш плавною, отримуючи не єдиний результат класифікації кадру, а й допомагає отримати більш впевнений загальний результат класифікації, об'єднаний з різних мереж. Звичайні підходи до агрегації виходів з різних мереж в єдине значення включають голосування, усереднення (чи зважене усереднення), стекування та інші [23-26].

Наша модель ансамблю працює наступним чином. Виходи з кожної з описаних раніше трьох CNN агрегуються згідно з простою процедурою голосування (1) або голосування з довірою (2), так що накопичуються не тільки результати класифікацій незалежних кадрів, але й множинні результати класифікацій одного кадру, отримані з різних дрібних мереж.

Ми додатково вводимо модифікацію голосування (2), яка включає відкидання максимальних та мінімальних результатів класифікації ансамблю, так само, як, наприклад, під час оцінювання спортивних змагань зі стрибків у воду.

Результати класифікації ансамблем дрібних загорткових нейронних мереж наведено в таблиці 3, і вони, безумовно, є кращими за результати класифікації тільки за допомогою однієї мережі, навченої на збалансованому наборі (табл. 2).

Таблиця 3 – **Результати класифікації статі ансамблем з трьох мереж та різними моделями голосування**

Метод	Всі зображення	Чоловіки	Жінки
Незалежні кадри	86.71%	93.13%	78.66%
Голосування (N=10)	89.18%	93.83%	83.49%
Голосування (N=20)	89.61%	93.42%	85.00%
Голосування із довірою (N=10)	89.25%	93.15%	84.48%
Голосування із довірою (N=20)	89.63%	93.27%	85.21%
Голосування із довірою без макс. та мін. (N=10)	89.95%	93.69%	85.46%
Голосування із довірою без макс. та мін. (N=20)	90.59%	93.87%	86.70%

Кількість прийнятих рішень є на 3% і 5% (4% і 7% для голосування без максимальних і мінімальних значень) меншою за початкову кількість кадрів для N = 10 і N = 20 відповідно.

Необхідно відзначити, що голосування без максимального та мінімального значень дозволили отримати найкращі результати.

Висновки

У статті запропоновано підходи до вирішення задачі класифікації статі людини на базі зображення обличчя, захопленого з відеопотоку. Для класифікації використано дрібні моделі згорткових нейронних мереж, ансамбль таких мереж та узагальнення результатів класифікації різних кадрів та навіть одного кадру із використанням різних підходів.

Перевірено точність підготовлених дрібних CNN і отримано близько 87-90% правильних рівнів класифікації з різними архітектурами мереж.

Виконано дослідження голосування та голосування із довірою як способу підвищення точності, просте голосування дозволяє підвищити точність на 4-5%. Класифікація, заснована на голосуванні із довірою, у більшості випадків є дещо кращою (найкраще поліпшення становить близько 1,5%), але є аналогічною до голосування після встановлення порогу.

Використання дрібних CNN може зменшити час класифікації в десятки разів порівняно з більш сучасними глибокими CNN, що робить можливим створення ансамблів нейронних мереж для прийняття остаточного рішення. Використання ансамблю з трьох різних дрібних мереж на базі голосування із довірою дозволило підвищити точність класифікації на 2-5%.

Експерименти, проведені із більшою кількістю послідовних кадрів (N = 20) виявилися кращими за аналогічні, проведені із N = 10. В той самий час, агрегація призводить до пропуску деяких кадрів з обличчями в оригінальному відеопотоці. Кількість таких пропущених кадрів залежить від відеопотоку та методу класифікації (єдина CNN або ансамбль) і знаходилася в діапазоні від 5% до 15% для нашого набору даних.

Переваги дрібних CNN пов'язані з спрощенням їх архітектури, швидкою реалізацією навчання та класифікації, низькими апаратними або програмними вимогами до обладнання чи програмного середовища, зручністю використання для цілей дослідження та / або навчання.

Основним недоліком є обмеження класу задач, які можливо вирішити із їх використанням, як було показано раніше [7].

References

1. Dehghan, A., Ortiz, E.G., Shu, G. and Masood, S.Z. (2017), *DAGER: Deep Age, Gender and Emotion Recognition Using Convolutional Neural Networks*, available at: https://arxiv.org/pdf/1702. 04280.pdf.
2. El Khiyari, H., Wechsler, H. (2016), *Face Verification Subject to Varying (Age, Ethnicity, and Gender) Demographics Using Deep Learning*, DOI: https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000323
3. Levi, G. and Hassner, T. (2015), "Age and Gender Classification Using Convolutional Neural Networks", *Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, DOI: https://doi.org/10.1109/cvprw.2015.7301352.
4. Rothe, R., Timofte, R. and Gool, L.V. (2015), "Dex: Deep expectation of apparent age from a single image", *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, DOI: https://doi.org/10.1109/iccvw.2015.41.
5. Simonyan, K. and Zisserman, A. (2015), *Very deep convolutional networks for large-scale image recognition*, available at: https://arxiv.org /pdf/1409.1556.pdf.
6. Ekmekji, A. (2016), *Convolutional Neural Networks for Age and Gender Classification*, available at: http://cs231n.stanford.edu/reports/2016/ pdfs/003_Report.pdf.
7. Gorokhovatskyi, O. (2018), "Shallow Convolutional Neural Networks for Pattern Recognition Problems", *Proceedings of the IEEE International Conference on DataStream Mining & Processing*, 23-27 August 2018, Lviv, Ukraine, pp. 459-463, DOI: https://doi.org/10.1109/dsmp.2018.8478540.
8. Hebda, B. and Kryjak, T. (2016), "A compact deep convolutional neural network architecture for video based age and gender estimation", *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems*, pp. 787–790.
9. Hogervorst, J., Okafor, E. and Wiering, M. (2017), *Deep Colorization for Facial Gender Recognition*, available at: http://www.ai.rug.nl/ ~mwiering/GROUP/ARTICLES/Facial_Gender_Classification.pdf.
10. Antipov, G., Berrani, S. and Dugelay, J. (2016), "Minimalistic CNN-based ensemble model for gender prediction from face image", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 70, Issue C, pp. 59-65, DOI: 10.1016/j.patrec.2015.11.011.
11. Jia, S., Lansdall-Welfare, T. and Cristianin, N. (2016), *Gender Classification by Deep Learning on Millions of Weakly Labelled Images*, available at: http://www.lansdall-welfare.com/wp-content/uploads/2016/11/deep_gender.pdf.
12. Selim, M., Sundararajan, S., Pagani, A. and Stricker, D. (2018), *Image Quality-Aware Deep Networks Ensemble for Efficient Gender Recognition in the Wild*, available at: http://av.dfki.de/ ~pagani/papers/Selim2018_VISAPP.pdf.
13. Bekios-Calfa, J., Buenaposada, J. M. and Baumela, L. (2011), "Revisiting Linear Discriminant Techniques in Gender Recognition", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 33, no. 4, pp. 858-864, DOI: https://doi.org/10.1109/tpami.2010.208.
14. Demirkus, M., Toews, M., Clark, J. J. and Arbel, T. (2010), "Gender classification from unconstrained video sequences", *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Workshops*. DOI: https://doi.org/10.1109/cvprw.2010.5543829.
15. Huang, G. B., Mattar, M., Lee, H. and Learned-Miller, E. (2012), "Learning to Align from Scratch", *Advances in Neural Information Processing Systems*, pp. 764-772.
16. Huang, G. B., Ramesh, M., Berg, T. and Learned-Miller, E. (2007), *Labeled Faces in the Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments*, University of Massachusetts, Amherst, Technical Report 07-49.
17. Viola, P. and Jones, M. (2001), "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features", *Proceeding of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* , vol. 1, pp. 511-518.
18. OpenCV Open Source Computer Vision, available at: https://docs.opencv.org/master/index.html.
19. Liu, Z., Luo, P., Wang, X. and Tang, X. (2015), "Deep Learning Face Attributes in the Wild", *Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV)*, DOI: https://doi.org/10.1109/iccv.2015.425.
20. Eidinger, E., Enbar, R. and Hassner, T. (2014), "Age and gender estimation of unfiltered faces", *IEEE Transactions on information forensics and security*, Vol. 9, Issue 12, DOI:.1109/tifs.2014.2359646.
21. *Easy Real time gender age prediction from webcam video with Keras* (2017), available at: https://github.com/Tony607/Keras_age_gender.
22. Zagoruyko, S. and Komodakis, N. (2017), *Wide Residual Networks*, available at: https://arxiv.org/pdf/1605.07146.pdf.
23. Shu, C. and Burn, D. H. (2004), "Artificial neural network ensembles and their application in pooled flood frequency analysis", *Water Resources Research*, Vol. 40, W09301, DOI: https://doi.org/10.1029/2003WR002816.
24. Frazao, X., Alexandre, L. A. (2014), Weighted Convolutional Neural Network Ensemble, available at: https://www.di.ubi.pt/~lfbaa/ pubs/ciarp2014.pdf.
25. Jiménez, D. (1998), "Dynamically Weighted Ensemble Neural Networks for Classification", *Proceedings of the IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, DOI: https://doi.org/10.1109/ijcnn.1998.682375.

26. Ju, C., Bibaut, A. and Van der Laan, M.J. (2017), "The Relative Performance of Ensemble Methods with Deep Convolutional Neural Networks for Image Classification", *Journal of Applied Statistics*, 45(15), DOI: https://doi.org/10.1080/02664763.2018.1441383.

Надійшла (received) 29.09.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Гороховатський Олексій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та комп'ютерної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;
Oleksii Gorokhovatskyi – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Computer Science and Computer Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: oleksii.gorokhovatskyi@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3477-2132

Передрій Олена Олегівна – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформатики та комп'ютерної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;
Olena Peredrii – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of Computer Science and Computer Engineering Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: elena_peredriy@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-0390-1931

Ансамбль мелких сверточных нейронных сетей для классификации пола человека в видеопотоке

А. В. Гороховатский, Е. О. Передрий

Аннотация. Предметом исследования являются нейросетевые модели классификации пола человека по изображению лица при обработке видеопотока. **Целью** является исследование эффективности отдельных неглубоких нейронных сетей и созданных из них ансамблей для решения задачи классификации пола человека в видеопотоке, который обрабатывается как последовательность отдельных фреймов. **Задачи:** разработка математических моделей обработки последовательности фреймов с накоплением с использованием разных стратегий, исследование их эффективности для решения задачи классификации, компиляция ансамблей мелких свёрточных нейронных сетей. Применяемые **методы**: модели нейронных сетей, интеллектуальный анализ данных, математическая статистика, функциональный анализ, компьютерное моделирование. Полученные **результаты**: показано, что точность классификации может быть повышена как за счет использования разных моделей голосования результатов отдельных фреймов, так и за счет использования ансамблей неглубоких свёрточных нейронных сетей. Незначительные аппаратные и программные ресурсы, которые требуются для их обучения и использования, дают возможность повысить скорость классификации в несколько раз в сравнении с результатами классификации нейронными сетями более сложной архитектуры. **Выводы. Научная новизна** заключается в создании ансамблей неглубоких нейронных сетей, общее решение в которых принимается после обобщения различными методами голосования с доверием как результатов классификации отдельных фреймов, так и результатов классификации одного и того же фрейма разными сетями, что дает возможность повысить точность и быстродействие классификации. **Практическая значимость** работы состоит в создании метода, который дает возможность обеспечить допустимый уровень точности классификации и значительно повысить быстродействие за счет использования неглубоких архитектур нейронных сетей.

Ключевые слова: ансамбль; неглубокие нейронные сети; определение лиц; классификация пола; распознавание изображений; свёрточные нейронные сети; голосований с доверием; агрегация; фрейм; видеопоток.

Ensemble of shallow convolutional neural networks for classification of gender in video stream

O. Gorokhovatskyi, O. Peredrii

Abstract. Subjects of the research are neural network models for a person's gender classification by the image of a person when processing a video stream. The **goal** is to investigate the effectiveness of individual shallow neural networks and ensembles created from them to solve the problem of classifying a person's gender in a video stream, which is processed as a sequence of individual frames. **Tasks** include the development of mathematical models to process a sequence of frames with accumulation using different strategies, investigation of their effectiveness for solving the classification problem, compiling ensembles of shallow convolutional neural networks. Following **methods** are used: neural networks modeling, data mining, mathematical statistics, functional analysis, computer modeling. **Results** follows: it is shown that the classification accuracy can be improved both through the use of different voting models of the individual frames classification results, and through the use of ensembles of shallow convolutional neural networks. The insignificant hardware and software resources that are required for their training and use make it possible to increase the classification speed by several times in comparison with the results of classification by neural networks, that have more complex architecture. **Conclusions. The contribution is in** the creation of ensembles of shallow neural networks, the general decision in which is made after the generalization by various voting methods with confidence both the classification results of individual frames and the classification results of the same frame by different networks, which makes it possible to increase the accuracy and speed of classification. The **practical significance** of the work is in the creation of a method that makes it possible to provide an acceptable classification accuracy and significantly improve performance by using shallow neural network architectures.

Keywords: ensemble; shallow neural networks; face detection; gender classification; image recognition; convolutional neural networks; trusted voting; aggregation; frame; video stream.

УДК 004.932 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.12**

О. М. Маковейчук

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ МОЗАЇЧНИХ СТОХАСТИЧНИХ МАРКЕРІВ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

Анотація. Предметом вивчення в статті є метод виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. **Метою** є розробка методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. **Завдання:** аналіз існуючих маркерів доповненої реальності, розробка методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, практична перевірка роботи методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Використовуваними **методами** є: методи цифрової обробки зображень, теорії ймовірності, математичної статистики, криптографії та захисту інформації, математичний апарат теорії матриць. Отримані такі **результати.** Визначені переваги та недоліки основних існуючих типів маркерів доповненої реальності. Наведена структурна схема методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Розглянуто етапи методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. Проведені експериментальні дослідження щодо виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності. **Висновки.** Вперше отримано метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскованої області зображення. Напрямками подальших досліджень є розробка методу визначення параметрів проективного перетворення, що необхідно для вирівнювання зображення і визначення положення камери; розробка методу декодування мозаїчного стохастичного маркеру доповненої реальності.

Ключові слова: мозаїчний стохастичний маркер; код; доповнена реальність; зображення-контейнер; сегментація; зображення; морфологічна фільтрація.

Вступ

Постановка проблеми у загальному вигляді. У теперішній час інформаційні технології доповненої реальності використовуються у багатьох областях: ігрова індустрія, медицина, освіта, військова сфера, виробництво і транспорт, кіно і телебачення, онлайн-трансляції, підготовка та навчання співробітників, маркетинг і реклама, роздріб/онлайн-комерція і торгівля нерухомістю тощо [1]-[3]. Відомо що доповнена реальність, що базується на візуальних маркерах, передбачає використання камери та спеціальні пасивні візуальні маркери, наприклад QR-код (quick response code – код швидкого відгуку) [3, 4]. В якості маркерів можуть також використовуватися зображення об’єктів реального світу. Детектуючі маркери у відеопотоці, вдається вирізнити віртуальні об'єкти з реального світу. При цьому суттєвим є визначення положення та орієнтації камери, яке визначається засобами комп’ютерного бачення [5, 6].

Мета статті – розробка методу виявлення мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні існуючі типи AR-маркерів наведені в [3, 4, 7, 8]:

– шаблонні (template markers) – чорно-білі маркери, які мають просте зображення всередині чорної рамки;

– 2D штрих-кодові (barcode markers) –маркери, що складаються з чорно-білих клітинок, які побітово кодують дані, і, іноді, рамки або області синхронізації. Найчастіше в якості штрих-кодових AR-маркерів використовують QR-коди;

– кругові (circular markers) – аналогічно до штрих-кодових маркерів, тільки біти кодуються не прямокутними клітинками, а чорно-білими круговими секторами;

– зображення (image markers) – в якості маркерів використовуються звичайні кольорові зображення. Можуть містити рамку або інші орієнтири для виявлення та знаходження положення. Маркери-зображення зазвичай ідентифікуються за допомогою пошуку по шаблону або по особливостях зображення.

В [9] запропонований новий тип мозаїчних стохастичних маркерів доповненої реальності, вид якого наведений на рис. 1.

Рис. 1. Мозаїчний стохастичний маркер доповненої реальності

Отже, розробимо метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності.

Основна частина

Структурна схема методу виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності представлена на рис. 2. Попередня обробка вхідного зображення (рис. 1) включає в себе перехід від кольорового до зображення у градаціях сірого.

Формально це можна записати у вигляді (1):

$$g = \frac{1}{255}\left(0,2989R + 0,5870G + 0,1140B\right), \qquad (1)$$

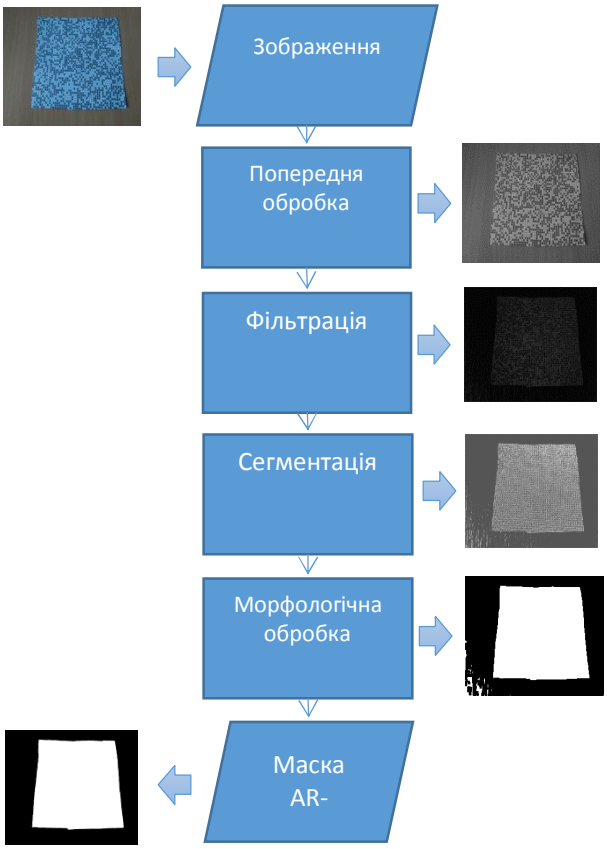


Рис.2. Структурна схема методу виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності

де R, G, B – відповідні кольорові компоненти вихідного зображення у RGB-представленні; g – зображення у градаціях сірого; коефіцієнти перетворення співпадають з коефіцієнтами для Y-каналу (яскравості) при переході від RGB до NTSC-представлення; коефіцієнт 1/255 вводиться для зручності – для нормування динамічного діапазону яскравості від 0..255 до 0..1. Зображення у градаціях сірого наведено на рис. 3.

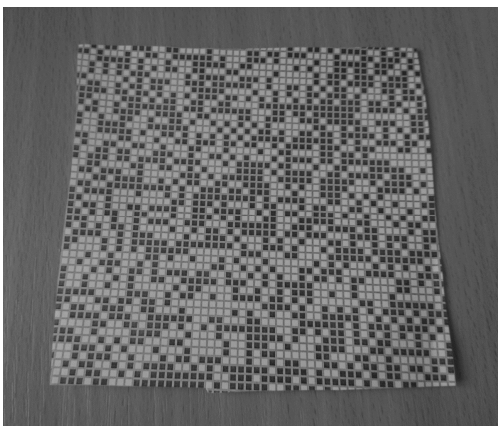


Рис. 3. Зображення у градаціях сірого

Враховуючи, що AR-маркер містить тільки 3 значення градації сірого {0, 1/2, 1}, пропонується для його детектування на зображенні f (рис. 3) використовувати операцію знаходження локального стандартного відхилення по квадратній області. На границі між клітинками AR-маркера локальне стандартне відхилення буде максимальним і малим для гладких областей зображення. Оскільки всі координати на зображеннях задаються цілими числами, то розмір області зручно (для симетрії) вибирати непарним числом.

На рис. 4 представлено зображення σ, яке є результатом обчислення локального стандартного відхилення по області розміром (3x3).

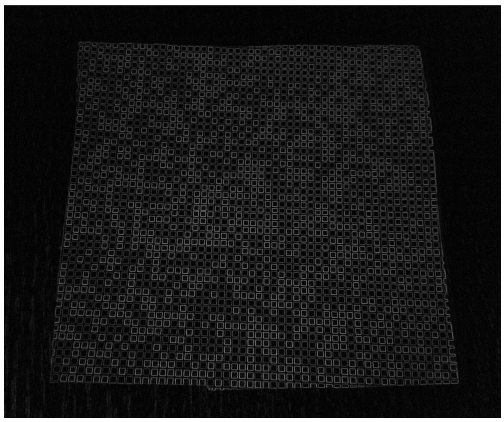


Рис. 4. Зображення локального стандартного відхилення

Для квадратної області розміром (2a+1)x(2a+1) з центром у точці з координатами (x,y) маємо:

$$\sigma(x,y) = (2a+1)^{-2} \times \\ \times \sum_{m=-a}^{a} \sum_{n=-a}^{a} \left(f(x+m, y+n) - \mu(x,y) \right)^2, \quad (2)$$

де $\mu(x,y)$ – локальне середнє, що розраховується за виразом (3):

$$\mu(x,y) = \frac{1}{(2a+1)^2} \sum_{m=-a}^{a} \sum_{n=-a}^{a} f(x+m, y+n), \quad (3)$$

Наступним кроком необхідно бінаризувати зображення (рис. 4). Оскільки гістограма зображення локального стандартного відхилення є унімодальною у загальному випадку (рис. 5), то стандартна бінаризація по Отсу, що добре працює для бімодальних розподілів, у даному випадку буде давати завищений поріг, що призведе до втрати частини корисної інформації (рис. 6).

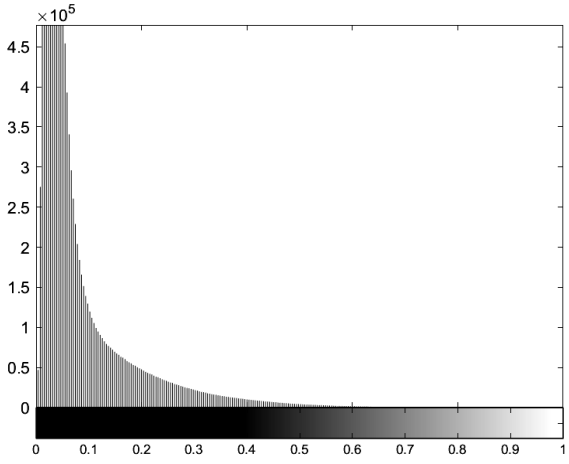


Рис. 5. Гістограма зображення локального стандартного відхилення

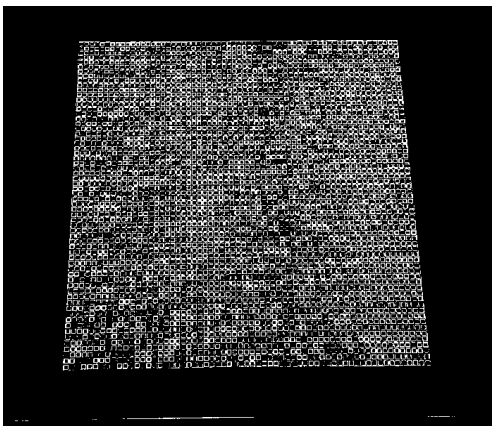


Рис. 6. Результат бінаризації по Отсу, частина інформації втрачена

Бінаризацію будемо проводити за допомогою сегментації методом *K*-середніх. Найпростішим способом є сегментація на K=2 класи (фон, об'єкт), але у даному випадку це дасть результати, близькі до бінаризації по Отсу. Тому пропонується використовувати *K* = 3 класи – фон, проміжні значення, об'єкт (рис. 7).

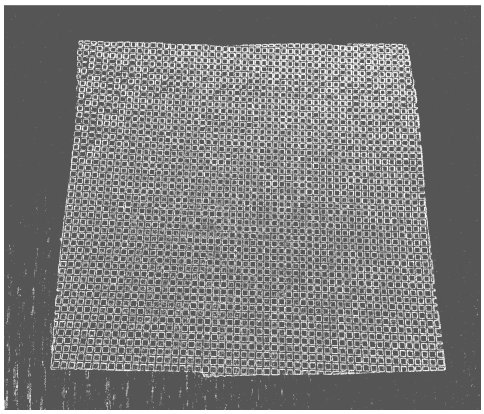


Рис. 7. Індексне зображення – результат сегментації на 3 класи

Тоді бінарне зображення отримується як об'єднання масок класів, що не належать фону. Фон визначається як клас який має найменше середнє значення яскравості. Оскільки фон займає найбільшу площу, то він визначається найкраще. Збільшення числа класів K>3 суттєво не змінює результати і є недоцільним. Результат бінаризації запропонованим методом представлені на рис. 8.

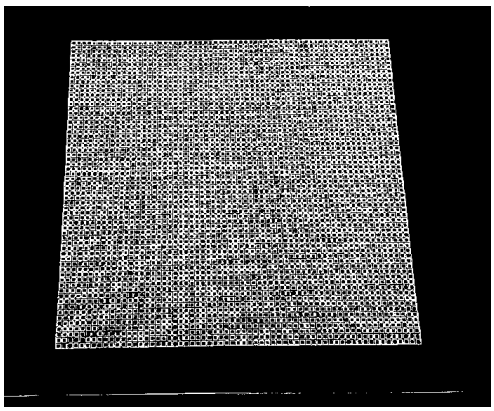
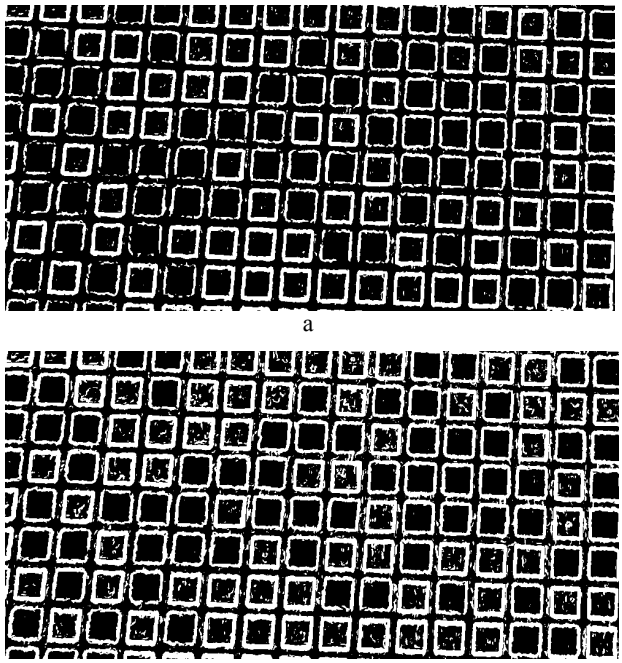


Рис. 8. Результат бінаризації запропонованим методом

Для порівняння результатів на рис. 9 показані фрагменти бінарних масок, отриманих методом Отсу і запропонованим методом. Можна бачити, що запропонований метод дає суттєво кращі результати – всі контури клітинок добре виділяються.



а

б

Рис. 9. Порівняння результатів бінаризації: а – методом Отсу, частина контурів відсутня; б – запропонованим методом, всі контури в наявності

Отримане бінаризоване зображення обробляється за допомогою операцій математичної морфології. Для заповнення внутрішніх областей пропонується використовувати операцію морфологічного замикання з квадратним вікном, при цьому розмір вікна задає максимальний розмір порожнин, які будуть заповнені. У даній роботі запропоновано використовувати вікно (63x63), результати показані на рис. 10.

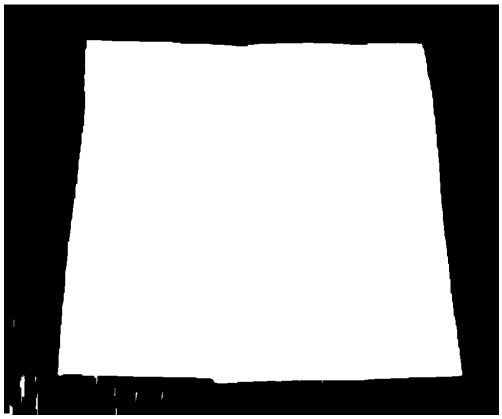


Рис. 10. Результат заповнення внутрішніх областей

Наступним кроком знаходиться найбільша по площі 4-зв'язна область (рис. 11). Надалі є сенс відкинути неінформативні області зображення і в якості області AR-маркера брати прямокутний фрагмент, в який вписана його маска (рис. 12). Всі подальші

операції будуть проводитися тільки для частини зображення, що виділяється цією маскою (рис. 13).

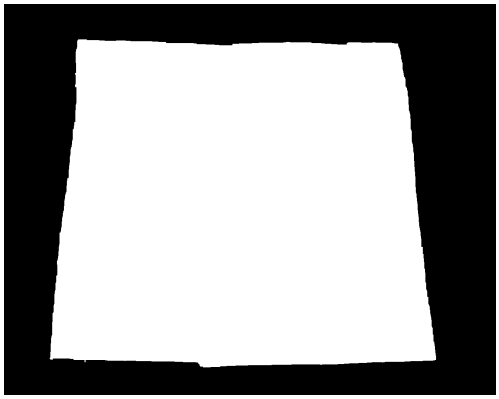


Рис. 11. Найбільша зв'язна область

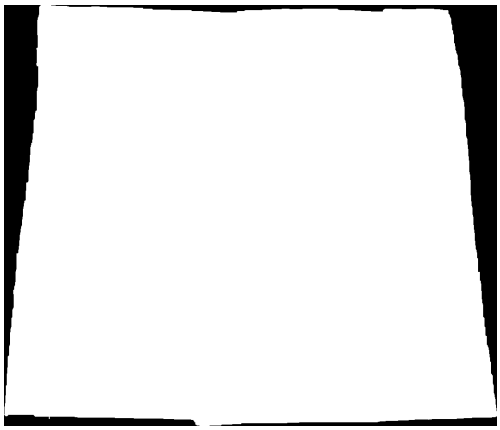


Рис. 12. Маска AR-маркера

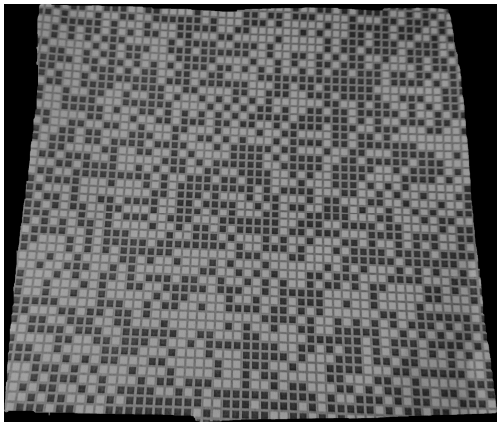


Рис. 13. Зображення AR-маркера

Для визначення біт-контейнерів – інформаційних елементів-клітинок, колір яких кодує інформаційні біти, пропонується аналогічно до визначення області AR-маркера використовувати сегментацію зображення AR-маркера на K=3 класи за допомогою алгоритму K-середніх. Результат сегментації представлено на рис. 14.

Слід зауважити, що алгоритм K-середніх призначає індекси класів довільним чином і для отримання картинки, що виглядає більш подібно до вихідного зображення, отримані індекси слід впорядкувати по зростанню середнього значення яскравості кожного класу. Результат такого впорядкування представлено на рис. 15, у цьому випадку темні клітинки (що кодують біт 0) будуть належати класу із мінімальним значенням індексу, що є рівним 1, сірі (границя) – класу із індексом 2, білі (що кодують біт 1) – класу із індексом рівним 3.

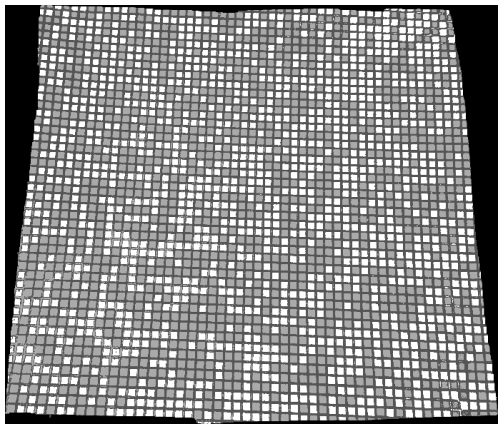


Рис. 14. Індексне зображення сегментації AR-маркера

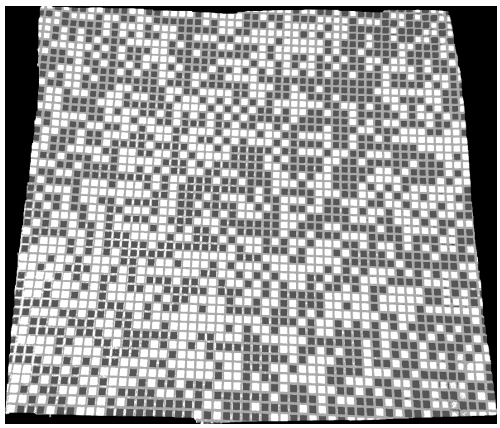


Рис. 15. Результат впорядкування індексів класів (пор. з рис. 13)

Маючи правильно впорядковані індекси класів, можемо виділити маски клітинок, що відповідають кожному біту. Біт 0 кодується чорним кольором, йому буде відповідати клас з найменшим індексом, що рівний 1 (рис.16). Біт 1 кодується білим кольором, йому буде відповідати клас з найбільшим індексом, що рівний 3 (рис. 17).

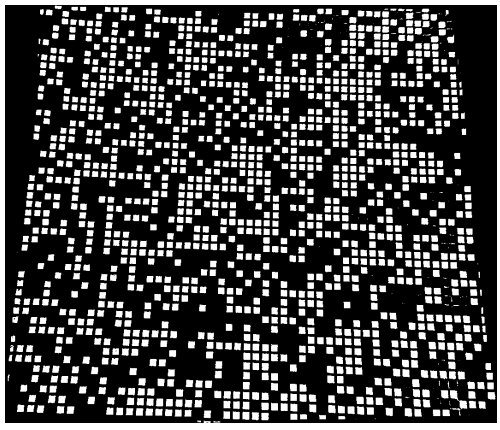


Рис. 16. Маска для клітинок з індексом 1 (біт 0)

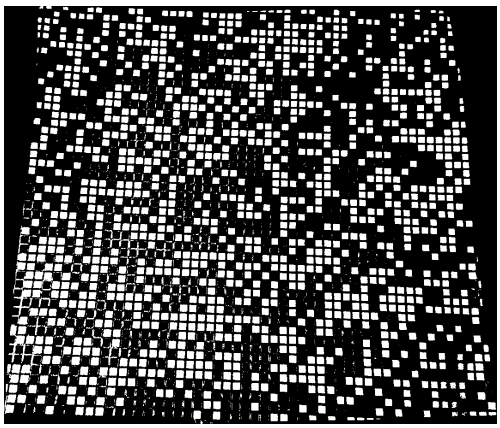


Рис. 17. Маска для клітинок з індексом 3 (біт 1)

Наступним кроком є фільтрація масок біт-контейнерів, що ефективно виконується за допомогою операції морфологічного розмикання по квадратному вікну. Певною проблемою є вибір розміру вікна, такого, щоб максимально відфільтровувались артефакти і при цьому не видалялись інформаційні елементи.

Для вибору оптимального розміру вікна пропонується наступне. Порахуємо кількість N(a) 4-зв'язних областей на бінарному зображенні, що залишилися після операції морфологічного розмикання, як функцію розміру вікна фільтрації a (рис. 18).

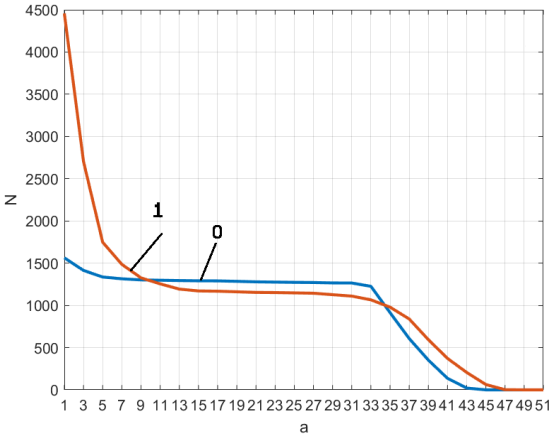


Рис. 18. Функція N(a), порахована для кожної маски біт-контейнера

Функція N(a) спочатку спадає, оскільки із зростанням розміру вікна відфільтровується все більше областей, далі для певного діапазону розмірів виходимо на плато – кількість областей залишається незмінною, оскільки розмір вікна є меншим за типовий розмір клітинки. При подальшому збільшенні розміру вікна функція N(a) знову буде спадати, тому що почнуть відфільтровуватися клітинки. Таким чином, для визначення розміру вікна, необхідно знайти точку, при якій функція N(a) виходить на плато. Це буде означати, що шум вже відфільтрувався, а клітинки ще ні. Оскільки функція N(a) є незростаючою (за побудовою!), то для знаходження цієї точки достатньо знаходити перший максимум похідної dN/da (рис. 19). Результати морфологічної фільтрації наведено на рис. 20, 21.

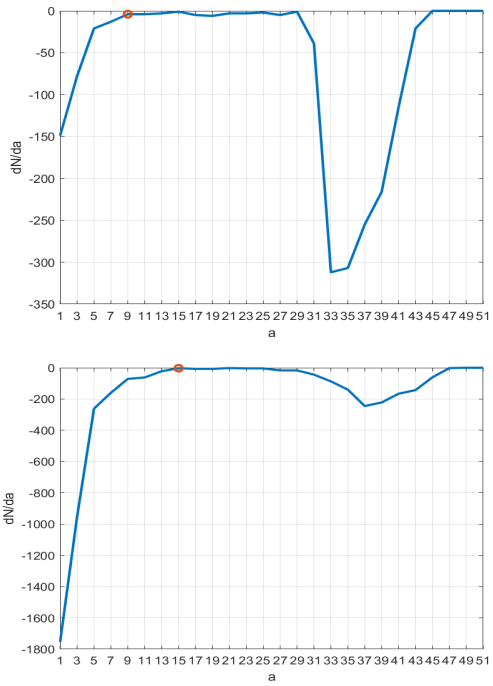


Рис. 19. Графіки похідної dN/da для кожної маски біт-контейнера, кружечком позначена точка першого максимуму: для 0 – нагорі; для 1 – внизу

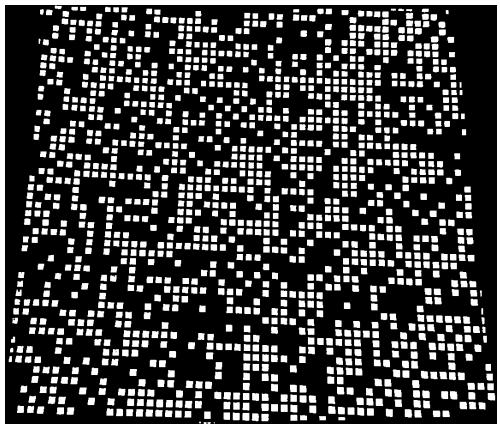


Рис. 20. Результат морфологічної фільтрації маски біт-контейнера (біт 0)

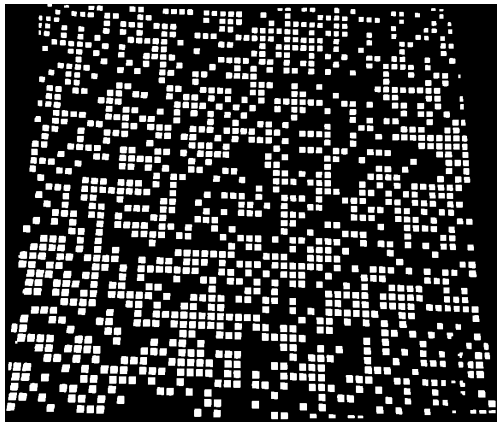


Рис. 21. Результат морфологічної фільтрації маски біт-контейнера (біт 1)

З урахуванням перспективних спотворень зображення описана поведінка функції N(a) робиться менш визначеною, оскільки частина клітинок на дальній

частині зображення буде меншого розміру ніж шум на ближній частині, однак, як показали проведені експерименти, запропонований спосіб визначення оптимального розміру вікна фільтрації дає непогані результати – як буде показано далі для пропонованих алгоритмів є менш критичним втрата певної кількості інформаційних клітинок, ніж наявність шумових областей. Морфологічна фільтрація ефективно усуває тільки ті області, що є меншими за розмір клітинки, для фільтрації областей, що є значно більшими за цей розмір необхідно використовувати інший метод. Якщо дрібні артефакти виникають через дефекти бінаризації, то природа цього шуму інша – це або завади, що закривають частину області контейнера, наприклад, рука або інший предмет, або частина клітинок, що «склеїлися» разом внаслідок нерівномірності освітлення. Для усунення такого шуму пропонується використовувати статистичну фільтрацію по розміру зв'язних областей – відфільтровуються всі області, площа яких більша за три стандартних відхилення від середнього значення. Для збільшення ефективності даний метод використовується ітеративно. Кількість ітерацій дорівнює 3. Результати статистичної фільтрації для кожної маски наведено на рис. 22, 23, результат об'єднання представлено на рис. 24.

Таким чином, вперше отримано метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскованої області зображення.

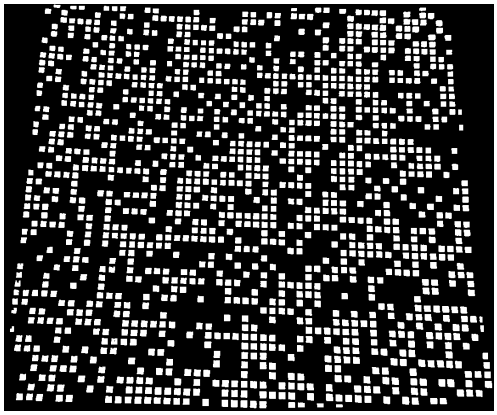


Рис. 22. Результат статистичної фільтрації маски біт-контейнера (біт 0)

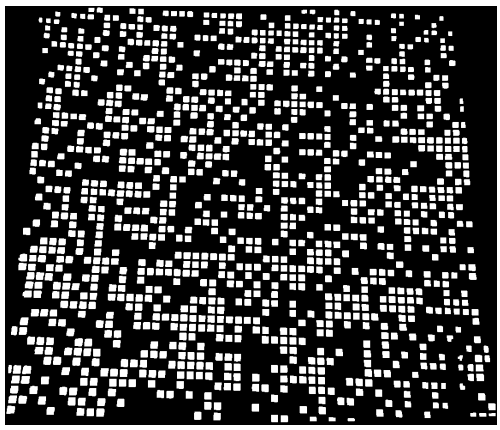


Рис. 23. Результат статистичної фільтрації маски біт-контейнера (біт 1)

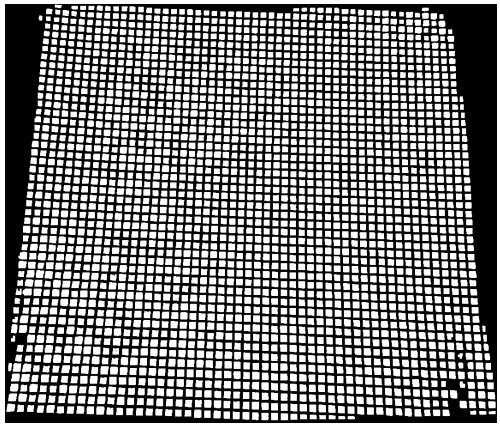


Рис. 24. Результат об'єднання масок

Висновки і напрямки подальших досліджень

Вперше отримано метод виявлення мозаїчного стохастичного маркера доповненої реальності, який на підставі бінаризації локальної дисперсії детектує область маркера на вихідному зображенні та знаходить маски біт-контейнерів шляхом сегментування та подальшої морфологічної фільтрації маскованої області зображення.

Напрямками подальших досліджень є такі:

1) розробка методу визначення параметрів проективного перетворення, що необхідно для вирівнювання зображення і визначення положення камери;

2) розробка методу декодування мозаїчного стохастичнго маркеру доповненої реальності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Goldman, S. Global Investment Research. 2019. URL: https://www.goldmansachs.com/careers/divisions/global-investment-research/.
2. Adobe Blog. The 10 VR Trends We'll See in 2018. URL: https://theblog.adobe.com/10-vrtrends-well-see-2018/.
3. Facebook Research. AR/VR-Facebook Research. 2019. URL: https://research.fb.com/caitegory/augmented-reality-virtual-reality.
4. Siltanen S. Theory and doapplications of marker-based augmented reality. Siltanen, Espoo 2012. 198 p.
5. Lowe, David G. Object recognition from local scale-invariant features. Proc. of the Int. Conf. on Comp. 1999. P. 1150–1157.
6. Форсайт А.Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Форсайт А. Д., Понс Ж. // Компьютерное зрение. Современный подход. – 2004. – 928 с.
7. Hartley R., Multiple View Geometry in Computer Vision / Hartley R., Zisserman S. // Cambridge University Press New York, NY, USA – 2003. – 655 p.
8. Маковейчук О. М. Використання генетичних алгоритмів для знаходження інверсних псевдовипадкових блочних перестановок / О. М. Маковейчук, І. В. Рубан, Г. В. Худов // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2019. – № 4 (56). – С. 72-81. – DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.072

9. Маковейчук О. М. Новий тип маркерів доповненої реальності / О. М. Маковейчук // Сучасні інформаційні системи. – 2019. – Т. 3, № 3. – С. 43–48. – DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.06

REFERENCE

1. Goldman, S. (2019), *Global Investment Research*, available at: https://www.goldmansachs.com/careers/divisions/global-investment-research/.
2. Adobe Blog. The 10 VR Trends We'll See in 2018 (2019), available at: https://theblog.adobe.com/10-vrtrends-well-see-2018/.
3. AR/VR-Facebook Research (2019), available at: https://research.fb.com/category/augmented-reality-virtual-reality.
4. Siltanen, S.(2012), *Theory and applications of marker-based augmented reality*, Espoo 2012, 198 p.
5. Lowe, David G. (1999), "Object recognition from local scale-invariant features", *Proceedings of the International Conference on Computer Vision 2*, pp. 1150–1157.
6. Forsyth A.D. and Pons J. (2004), *Computer vision. Modern Campaign*, 928 p.
7. Hartley, R. and Zisserman, S. (2003), *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University, NY, USA, 655 p.
8. Makoveychuk, O.M., Ruban, I.V. and Khudov G.V. (2019), "The Use of Genetic Algorithms for Finding Inverse Pseudo-Random Block Rearrangements", *Control, Navigation and Communication Systems*, No. 4 (56), pp. 72-81, DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2019.4.072
9. Makoveychuk, O.M. (2019), "A new type of augmented reality tokens", *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 4, pp. 43–48, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.3.06

Received (Надійшла) 30.09.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Маковейчук Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, докторант кафедри електронних обчислювальних машин, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна;
Oleksandr Makoveichuk – Candidate of Technical Sciences, doctoral student of Electronic Computers Department, Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: omakoveychuk@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4425-016X

Метод выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности

А. Н. Маковейчук

Аннотация. Предметом изучения в статье является метод выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. **Целью** является разработка метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. **Задачи:** анализ существующих маркеров дополненной реальности, разработка метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности, практическая проверка работы метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Используемыми **методами** являются: методы цифровой обработки изображений, теории вероятности, математической статистики, криптографии и защиты информации, математический аппарат теории матриц. Получены следующие **результаты**. Определены достоинства и недостатки основных существующих типов маркеров дополненной реальности. Приведена структурная схема метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Рассмотрены этапы метода выявления мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. Проведенные экспериментальные исследования по выявлению мозаичных стохастических маркеров дополненной реальности. **Выводы.** Впервые получен метод выявления мозаичного стохастического маркера дополненной реальности, который на основании бинаризации локальной дисперсии детектирует область маркера на исходном изображении и находит маски бит-контейнеров путем сегментирования и последующей морфологической фильтрации маскированной области изображения. Направлениями дальнейших исследований является разработка метода определения параметров проективного преобразования, которое необходимо для выравнивания изображения и определения положения камеры; разработка метода декодирования мозаичного стохастичного маркера дополненной реальности.

Ключевые слова: мозаичный стохастический маркер; код; дополненная реальность; изображение-контейнер; сегментация; изображения; морфологическая фильтрация.

A method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers

O. Makoveychuk

Abstract. The **subject matter** of the article is a method for identifying mosaic stochastic markers of augmented reality. The **goal** is to develop a method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers. The **tasks** are: analysis of existing augmented reality markers, development of a method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers, practical testing of the method for identifying mosaic stochastic augmented reality markers. The **methods** used are: methods of digital image processing, probability theory, mathematical statistics, cryptography and information protection, the mathematical apparatus of matrix theory. The following **results** are obtained. The advantages and disadvantages of the main existing types of markers of augmented reality are determined. The block diagram of the method for identifying mosaic stochastic markers of augmented reality is given. The stages of the method for identifying mosaic stochastic markers of augmented reality are considered. Conducted experimental studies to identify mosaic stochastic markers of augmented reality. **Conclusions.** For the first time, a method for identifying a mosaic stochastic augmented reality marker has been obtained, which, based on the binarization of local dispersion, detects the marker region in the original image and finds bit-container masks by segmenting and subsequent morphological filtering of the masked image region. The directions of further research are the development of a method for determining the parameters of projective transformation, which is necessary to align the image and determine the position of the camera; development of a decoding method for a mosaic stochastic marker of augmented reality.

Keywords: mosaic stochastic marker; code; augmented reality; image container; segmentation; images; morphological filtering.

Methods of information systems protection

УДК 004.056:004.49 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.13**

С. М. Лисенко[1], К. Ю. Бобровнікова[1], В. С. Харченко[2]

[1] Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна
[2] Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ БОТ-МЕРЕЖ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Анотація. Об'єкт. Процес виявлення бот-мереж у корпоративних мережах на основі аналізу мережевого трафіка та поведінки програмного забезпечеення комп'ютерних системах. **Предмет.** Методи виявлення бот-мереж в комп'ютерних системах. **Мета.** Підвищення достовірності виявлення бот-мереж шляхом розроблення методів їх виявлення бот-мереж в корпоративних мережах. **Результати.** Запропоновано новий підхід до виявлення бот-мереж в корпоративних мережах на основі аналізу поведінки ботів. Виявлення бот-мереж здійснюється шляхом застосування розроблених двох методів: за допомогою аналізу на мережному рівні та на хостовому рівні. Перший метод дозволяє аналізувати поведінку програмного забезпечення на хості, що може вказувати на можливу присутність бота безпосередньо на хості і виявлення шкідливого програмного забезпечення, тоді як другий метод включає в себе моніторинг і аналіз DNS-трафіка, що також дозволяє зробити висновок про інфікування мережних хостів ботами бот-мережі. На основі запропонованих методів було розроблено ефективний інструмент виявлення бот-мереж - BotGRABBER. Він здатний виявляти боти, які використовують такі методи ухилення від виявлення як періодична зміна IP-відображення (cycling of IP mapping), «потік доменів» (domain flux), «швидкозмінні» мережі (fast flux) та DNS-тунелювання (DNS tunneling). **Висновки**. Використання розробленої системи дозволяє виявляти інфіковані ботами бот-мереж хости і локалізувати шкідливі програми з високою ефективністю – до 96%, а також демонструє низькі помилкові спрацьовування – на рівні 3-5%. Особливість запропонованого підходу полягає в тому, що виявлення бот-мереж є «невидимим» для власників бот-мереж.

Ключові слова: бот; бот-мережа; DNS-трафік; методи ухилення від виявлення бот-мереж; шкідливе програмне забезпечення; штучні імунні системи; детектори; позитивний алгоритм відбору

Вступ

На сьогоднішній день бот-мережі є джерелом таких кіберзлочинів, як DDoS-атаки, банківські шахрайства та кібер-шпигунства. Такі злочинні дії завдають значної шкоди економіці. Власники бот-мереж використовують різні технології для розробки, контролю, підтримки і приховування їх C&C-інфраструктури. Основними труднощами виявлення бот-мереж є те, що вони використовують такі технології, як P2P [1] та методи ухилення від виявлення, зокрема такі як періодична зміна IP-відображення, «потік доменів», «швидкозмінні» мережі та DNS-тунелювання. Ці технології підвищують резильєнтність бот-мереж стосовно дій, спрямованих на їх знешкодження. Для керування і контролю над інфікованими хостами переважна більшість бот-мереж використовують DNS. Крім того, деякі бот-мережі використовують методи шифрування корисного навантаження комунікацій по протоколу DNS для того, щоб запобігти їх виявленню [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Спільнота дослідників приділяє пильну увагу проблемі виявлення бот-мереж, і відома велика кількість підходів, присвячених її вирішенню.

Одним із способів вивчення поведінки бот-мереж є використання мереж-приманок. Наприклад, підходи [3,4] представляють детальний аналіз різних атак проти мереж-приманок на базі Linux. Підходи показують, як аналізувати атаки залежно від їх типів, таких як тривалість сесії, країни та регіональний Інтернет-реєстру (RIR) походження атаки. Крім того, мережі-приманки представлені як найефективніший інструмент виявлення та аналізу загроз з Інтернету. Автори показують останні результати для мереж-приманок на базі Dionaea (емуляція служб Windows), Kippo (емуляція служб Linux) та Glastopf (емуляція служб веб-сайтів). Недоліком підходу є те, що розмежування мереж-приманок за їх IP-адресами порівняно грубе.

В роботі [5] описаний підхід механізму захисту рухомої цілі, який захищає автентифікованих клієнтів від DDoS-атак Інтернет-сервісів. Запропонований підхід включає групу динамічних прихованих проксі-серверів для передачі трафіку між автентифікованими клієнтами та серверами. З метою захисту клієнтів вони відокремлюються від зловмисних кібервторгнень за допомогою серій переборів та постійної заміни атакованих проксі-серверів резервними проксі-серверами та перепризначенням атакованих клієнтів на нові проксі. З метою реалізації відокремлення зловмисних вторгнень автори розробили ефективний жадібний алгоритм. Крім того, з метою оцінки ресурсів, необхідних для захисту від DDoS-атак та задоволення визначених рівнів QoS (Quality of Service) під час різних атак, вивчається та оцінюється можливість карантину вторгнень з використаням запропонованого жадібного алгоритму.

У дослідженні [6] пропонується процедура вилучення інформації та виявлення бот-мереж через сліди інфікованої системи з бот-мережею з метою реконструкції атаки бот-мережі та підготовки пакету цифрових доказів, який підтверджує шкідливі дії та шкідливі наслідки цієї атаки в суді.

В [7] представлена таксономія поведінкових ознак бот-мереж, методи виявлення та захисту. Цей

загальний огляд підкреслює можливості захисту мережі шляхом виявлення недоліків у існуючих підходах. Крім того, продемонстрована корисність класифікації за розмірами для оцінки методів виявлення бот-мереж за допомогою різних показників. Підхід демонструє особливості поведінки бот-мереж та вплив використання таксономії на точність виявлення бот-мереж.

Підхід, представлений у [8], описує принципи функціонування бот-мереж в різних аспектах: вибір кандидата у боти, побудова мережі, механізми / протоколи зв'язку з C&C та підходи до пом'якшення наслідків. Дослідження надає математичний аналіз двох підходів до усунення P2P бот-мереж: захист від атак отруєння індексу та Sybil, а також методи пасивного моніторингу, засновані на інфільтрації мережприманок чи захопленні ботів.

У статті [9] представлений підхід для виявлення як низькошвидкісних, так і високошвидкісних DDoS-атак. З цією метою автори використовують та емпірично оцінюють такі інформаційні показники, як ентропія Хартлі, Шеннона, Рені, узагальнена ентропія, розходження Кульбака-Лейблера та узагальнена міра інформаційної відстані. Дослідження включає відповідну метрику, яка полегшує побудову ефективної моделі для виявлення низькошвидкісних та високошвидкісних DDoS-атак.

У роботі [10] з метою забезпечення безпеки мережі наводиться таксономія інструментів для здійснення атак. Автори також представляють всебічний та структурований аналіз існуючих інструментів та систем, які можуть бути корисними як для зловмисників, так і для захисників мережі. У такому контексті обговорюються як переваги, так і недоліки представлених систем. Представлені рішення часто використовуються в мережній інфраструктурі для забезпечення безпеки, але вони неефективні для атак нульового дня.

У [11] проаналізовано мережу підприємства, яка використовує хмарні технології та програмно-конфігуровану мережу. Автори статті вивчали вплив заходів безпеки на механізми захисту від атак DDoS у мережі підприємства. Основна ідея статті полягає в тому, щоб показати, що використання архітектури для пом’якшення DDoS-атак може допомогти підприємствам захищатись від таких атак. Описана архітектура інтегрує високопрограмований мережний моніторинг, що дозволяє виявляти атаку, та дієву структуру управління для забезпечення швидкої та визначеної реакцію на атаку.

В [12] представлені принципи забезпечення безпеки бездротової мережі. Викладено чітке дослідження основних аспектів безпеки в самоорганізованих мережах та інших мережах, які використовують бездротові технології для зв'язку. Розглянуто основні аспекти безпеки та часто використовувані терміни. Після вивчення критичних проблем безпеки в множині бездротових мереж запропоновано конкретні рішення для загроз безпеки. Основним недоліком запропонованого підходу є те, що він не здатний реагувати на невідомі кібератаки, які виконуються бот-мережами.

У роботі [13] представлено підхід до виявлення аномальних шаблонів мережних з'єднань за допомогою штучних нейронних мереж, імунної системи, нейронечітких класифікаторів та їх комбінацій. У статті описана архітектура системи виявлення вторгнень на основі запропонованого методу. Розроблена система виявлення вторгнень є багаторівневою: в першу чергу проводиться сигнатурний аналіз, потім використовується комбінація адаптивних детекторів. Проведені експерименти демонструють ефективність методів з точки зору хибних спрацювань, виявлень та правильність класифікації.

У [14, 15] описано метод виявлення мережних атак та шкідливого коду. Метод грунтується на основних принципах штучної імунної системи, де імунні детектори мають структуру штучних нейронних мереж. Основна мета запропонованого підходу – виявлення раніше невідомих кібератак. Запропонована інтелектуальна система кіберзахисту може підвищити надійність виявлення вторгнень в комп'ютерних системах і, як результат, може зменшити фінансові втрати компаній від кібератак.

Загальним недоліком вищевказаних та інших відомих підходів є те, що вони не в змозі вирішити проблем нульового дня щодо виявлення бот-мереж.

1. Попередня робота

В роботі [16] був запропонований метод виявлення бот-мереж на основі DNS в корпоративних мережах. Метод включав два способи виявлення бот-мереж: пасивний і активний моніторинг DNS. Це надавало можливість виявляти бот-мережі, які використовують такі технології ухилення як періодична зміна IP-відображення, «потік доменів», «швидкозмінні» мережі та DNS-тунелювання [17-25, 27]. Така система – BotGRABBER - була заснована на кластерному аналізі ознак, отриманих з корисного навантаження DNS-повідомлень, та які можуть вказувати на використання технологій ухилення від виявлення бот-мереж. Результатом кластеризації був ступінь приналежності векторів ознак до одного з чотирьох кластерів, де приналежність вектора ознак до кластера вказувала на виконання запитів, що пов’язані з використанням технологій ухилення бот-мереж на основі DNS [16].

З метою усунення можливої невизначеності результатів кластеризації, метод застосовував додаткові ознаки, отримані шляхом активного DNS-зондування.

Основний недолік запропонованого підходу полягає в тому, що активне DNS-зондування може бути помітним для власника бот-мережі. Крім того, застосування кластерного аналізу в багатьох випадках має обмежені можливості для опису поведінки ботів, які використовують технології ухилення. Це призводить до неможливості виявлення бот-мереж, якщо їх поведінка може бути віднесена до «зловмисних» і «нормальних» кластерів одночасно. Крім того, цей метод може виявити вузли, які інфіковані бот-мережами, але не в змозі безпосередньо локалізувати шкідливе програмне забезпечення на інфікованому хості.

2. Технологія виявлення кіберзагроз в компютерних системах

В цій статті представлено новий підхід до виявлення бот-мереж на основі аналізу поведінки бот-мереж в корпоративній мережі. Технологія розроблена з метою усунення недоліків описаного вище підходу, а також розширення можливостей системи виявлення бот-мереж BotGRABBER.

З цією метою запропоновано здійснювати виявлення бот-мереж шляхом об'єднання двох етапів: за допомогою аналізу на мережному рівні і аналізу на хостовому рівні. Вони покликані покращити і уточнити результати один одного. З одного боку, цей підхід дозволяє аналізувати поведінку програмного забезпечення на хості, що може вказувати на можливу присутність бота безпосередньо на хості і надати можливість здійснити виявлення шкідливого програмного забезпечення. З іншого боку, він включає в себе моніторинг і аналіз DNS-трафіка, що дозволяє здійснити висновок щодо інфікування хостів мережі ботами бот-мережі. Таким чином, нова технологія виявлення бот-мереж дозволяє підвищити ефективність виявлення бот-мереж в корпоративних мережах.

Два методи працюють паралельно таким чином:

1). Якщо виявлено підозріле програмне забезпечення на хості корпоративної мережі, то воно блокується. Після цього підхід передбачає запит результатів аналізу мережного рівня стосовно підозрілих DNS-запитів від потенційно інфікованого хоста і від інших хостів мережі для подальшого аналізу.

2). Якщо за допомогою аналізу мережного рівня виявляються підозрілі DNS-запити, то формується список інфікованих хостів мережі. На основі знань щодо підозрілої поведінки програмного забезпечення здійснюється локалізація бота на інфікованому хості, а потім його блокування.

Розроблена технологія включає в себе два методи виявлення бот-мереж. Розглянемо кожен з них.

2.1. Метод виявлення бот-мереж на основі аналізу поведінки ботів на хості. З метою виявлення підозрілого програмного забезпечення з ознаками ботів бот-мереж, був розроблений новий метод, заснований на їх поведінці на хості. Він включає в себе наступні кроки:

1) побудова множини поведінок ботів на різних етапах їх життєвого циклу у вигляді шаблонів (представлені у вигляді бітових рядків);

2) моніторинг системних викликів програмного забезпечення хоста;

3) представлення спостережуваної поведінки програмного забезпечення в якості бітового рядка;

4) порівняння побудованого бітового рядка, що описує поведінку програмного забезпечення, з множиною бітових рядків, які представлють шаблони поведінок бот-мереж на різних етапах життєвого циклу ботів;

5) блокування функціонування програмного забезпечення, що оцінюється як шкідливе;

6) запити про результати, отримані за допомогою аналізу на мережному рівні про підозрілі DNS-запити від потенційно інфікованого хоста і від інших хостів мережі для подальшого аналізу.

Поведінкова модель бота. З метою виявлення ботів бот-мереж на хостах ми повинні дослідити їх ознаки і побудувати їх поведінкову модель. Розроблена поведінкова модель враховує онаки бота і формалізує його процес функціонування на хості протягом життєвого циклу, який включає в себе п'ять етапів: (1) інфікування; (2) первинна реєстрація або з'єднання з C&C сервером; (3) виконання шкідливої активності; (4) обслуговування; (5) припинення функціонування бота.

На основі знань щодо поведінок і основних ознак ботів бот-мереж ми можемо побудувати множину поведінок ботів на різних етапах їх життєвого циклу $DB = \{\Phi_{l_j}\}, j = \overline{1,5}$, де $L = \{l_j\}_{j=1}^{5}$ – набір етапів життєвого циклу бота. Представимо відомий поведінковий шаблон і поведінку спостережуваного програмного забезпечення у вигляді бітових рядків $\Phi = y_1 y_2 ... y_n$ і $T = t_1 t_2 ... t_m$ відповідно, де $y_i \in Y, t_i \in Y$. Визначимо $\Omega(\Phi, T)$ – булеву функцію порівняння рядків відомого поведінкового шаблону і поведінки спостережуваного програмного забезпечення, яка вказує на співпадіння або неспівпадіння.

Порівняння побудованого бітового рядка, що описує поведінку програмного забезпечення, з множиною бітових рядків, які описують поведінкові шаблони бот-мереж. На наступному етапі ми відслідковуємо поведінку програмного забезпечення на хості і представляємо її у вигляді бітового рядка з метою подальшого порівняня з раніше відомими шаблонами поведінок для ботів.

Всі групи поведінок представлені у вигляді шаблонів (а саме у вигляді бітових рядків). Таким чином, завдання ідентифікації підозрілої поведінки будь-якого програмного забезпечення полягає у знаходженні збігів рядка для спостережуваної поведінки з рядком, представленим в базі поведінок бот-мереж. Для вирішення цієї задачі був використаний алгоритм приблизного порівняння рядків (рішення задачі k-відмінності). Нехай задані два рядки, послідовність $T = t_1 t_2 ... t_m$ і шаблон $\Phi = y_1 y_2 ... y_n$ в деякому алфавіті Σ, а також ціле число k, тоді алгоритм дозволяє знайти всі підрядки Φ' для T з відстанню редагування щонайбільше k для Φ. Відстань редагування визначає мінімальну кількість операцій для редагування (відмінність), які необхідні для перетворення Φ' до Φ. Під операцією редагування мається на увазі вставка, видалення або зміна символу. Проблема k відмінності є окремим випадком зі зміною в одну операцію редагування [26]. Обробка шаблону потребує часу $O(mn)$. Табл. 1 демонструє експериментальні результати приблизного порівняння рядків для різних значень довжини R і параметра k. Таким чином, якщо $k = 0$, то це означає точний збіг, і немає ніякого рішення. Проте, коли значення $k = 2$, $k = 3$, то число рішень є досить низьким. Збільшення k призводить до зростання числа

рішень, причому час пошуку збігів також зростає. Дослідження показують, що вирішення задачі виявлення підозрілої поведінки можливе, коли параметр, $k = 4$. Представляючи $\Omega(\Phi_{l_j}, T)$ як факт ідентифікації підозрілої поведінки будь-якого програмного забезпечення, яка схожа на певний етап життєвого циклу ботів l_j, процедура моніторингу може бути описана у вигляді алгоритму 1.

Таблиця 1 – **Експериментальні результати приблизного порівняння рядків для різних значень довжини *R* і параметра** k

	Алфавіт Q	**Довжина послідовності R**	**Параметр k-відмінності**	**Кількість знайдених рядків**
Φ_1	430	35	0	0
	430	35	2	0
	430	35	3	0
	430	35	4	1
	430	35	5	2
Φ_2	430	78	0	0
	430	78	2	0
	430	78	3	1
	430	78	4	3
	430	78	5	8
Φ_3	430	93	0	0
	430	93	2	1
	430	93	3	4
	430	93	4	17
	430	93	5	24

```
if ((Ω(Φ_{l_1}, T) and Ω(Φ_{l_2}, T)) or Ω(Φ_{l_2}, T) is true) then
    mark software as suspicious, querying the results of the network −
    level analysis about anomaly in the DNS − traffic
    and possible infection of the host;
    if (the results of the network − level analysis indicates, that
    the host is infected) then
        block_the_software
    end
end
if (Ω(Φ_{l_3}, T) or Ω(Φ_{l_4}, T) is true) then
    block_the_software.
end
```

Алгоритм 1. Функціонування методу виявлення бот-мереж на основі аналізу поведінки ботів на хості на стадії моніторингу

2.2 Метод виявлення бот-мереж на основі DNS, який ґрунтується на використанні штучних імунних систем. З метою виявлення бот-мереж в мережі був розроблений новий метод на основі DNS, який ґрунтується на використанні штучних імунних систем (ШІС). Метод призначений для виявлення аномалій в DNS-трафіку та включає в себе наступні кроки:

1) побудова множини поведінкових шаблонів ботів в DNS-трафіку (представлених у вигляді бітових рядків);

2) збір вхідного DNS-трафіка мережі;

3) аналіз полів TTL вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені;

4) побудова вектора ознак на основі ознак, вилучених з вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені;

5) виявлення аномалій в DNS-трафіку, засноване на використанні штучної імунної системи;

6) одержання списку заражених хостів в мережі, виконання аналізу програмного забезпечення на інфікованому хості на хостовому рівні, локалізація і блокування програмного забезпечення.

Розглянемо кроки методу більш детально.

Побудова множини поведінкових шаблонів ботів в DNS-трафіку. З метою виявлення DNS-туннелювання аналізуються такі ознаки, отримані з корисного навантаження DNS-повідомлень [23-25]:

1) l_N – довжина запитуваного доменного імені, $l_N \in [75, 255]$;

2) n_U – кількість унікальних символів в доменному імені, $n_U \in (27, 37]$;

3) e_N – ентропія доменного імені, $e_N \geq f_{Eb32}$, де f_{Eb32} – функція залежності ентропії поля DNS-повідомлення від його довжини, n – основа кодування;

4) f_{UR} – використання рідко вживаних типів DNS-записів, які зазвичай не використовується типовим клієнтом (наприклад, TXT, що найбільш часто використовуються для тунелювання (за винятком поштових серверів), KEY або NULL);

5) e_R – ентропія DNS-записів, які містяться в DNS-повідомленнях (CNAME, TXT, NS, MX, KEY, NULL тощо), $e_R \geq f_{Eb64}, e_R \geq f_{Eb256}$;

6) l_P – максимальний розмір DNS-повідомлень, $l_P > 300$.

З метою виявлення таких технологій ухилення, як «швидкозмінні» мережі, «потік доменів» та періодична зміна IP-відображення, використовуються наступні ознаки [17-22]:

1) n_{IP} – кількість IP-адрес, пов'язаних з доменним ім'ям, $n_{IP} \in (5, \infty)$;

2) s_{IP} – середня дистанція між IP-адресами, пов'язаними з доменним ім'ям, $s_{IP} \in (65535, \infty)$;

3) n_A – кількість A-записів, що відповідають доменному імені, у вхідному DNS-повідомленні, $n_A \in (5, \infty)$;

4) s_A – середня дистанція між IP-адресами в множині A-записів для доменного імені у вхідному DNS-повідомленні, $s_A \in (65535, \infty)$;

5) n_{UA} – кількість унікальних IP-адрес в множинах A-записів, що відповідають доменному імені, у вхідних DNS-повідомленнях, $n_{UA} \in (8, \infty)$;

6) s_{UA} – середня дистанція між унікальними IP-адресами в множинах A-записів, що відповідають доменному імені, у DNS-повідомленнях, $s_{UA} \in (65535, \infty)$;

7) n_D – кількість доменних імен, які спільно використовують IP-адресу, що відповідає доменному імені, $n_D \in [8, \infty]$;

8) $t_{mod}, t_{med}, t_{aver}$ – TTL-період, мода, $t_{mod} \in [0, 900]$, медіана, $t_{med} \in [0, 900]$, середнє арифметичне значення, $t_{aver} \in [0, 900]$;

9) f_S – ознака успішності DNS-запиту.

Крім того, метод використовує дві ознаки: групове очищення локальних кешів DNS f_f [28] і синхронізації DNS-запитів від хостів мережі f_q [16, 28].

Таким чином, ми можемо представити шаблон, який описує поведінку бота, як набір бітових рядків ($a...s$ – індексні номери бітів в закодованій послідовності шаблону):

$$p_i = \left\langle \begin{array}{c} l_{N_1} ... l_{N_a} n_{U_{a+1}} ... n_{U_{a+b-1}} e_{N_{a+b}} ... e_{N_c} t_{mod_{c+1}} .. t_{mod_{c+d-1}} \\ t_{med_{c+d}} ... t_{med_e} t_{aver_{e+1}} .. t_{aver_{e+f-1}} n_{A_{e+f}} ... n_{A_g} n_{IP_{g+1}} ... n_{IP_{g+h-1}} \\ s_{IP_{g+h}} ... s_{IP_i} s_{A_{i+1}} ... s_{A_{i+j-1}} n_{UA_{i+j}} ... n_{UA_k} s_{UA_{k+1}} ... s_{UA_{k+l-1}} \\ n_{D_{k+l}} ... n_{D_m} f_{UR_{m+1}} ... f_{UR_{m+n-1}} e_{R_{m+n}} ... e_{R_o} l_{P_{o+1}} ... l_{P_{o+l-1}} \\ f_{S_{o+p}} ... f_{S_q} f_{q_{q+1}} ... f_{q_{q+r-1}} f_{f_{q+r}} ... f_{f_s} \end{array} \right\rangle. \quad (2)$$

Збір вхідного DNS-трафіка мережі. Вхідний DNS-трафік збирається за допомогою множини мережних сніфферів, підключених до комутатора з функцією дзеркалювання портів.

ПРИМІТКА. Для відкидання легітимних DNS-запитів і виявлення відомих шкідливих доменних імен метод використовує «білі» і «чорні» списки доменних імен.

Аналіз полів TTL вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені. На основі значень полів TTL обробляються такі DNS-повідомлення: кожне перше захоплене DNS-повідомлення щодо певного доменного імені в межах TTL-періоду DNS; кожне повторне DNS-повідомлення, отримане хостом в межах TTL-періоду, якщо джерело повідомлення не є локальним DNS-сервером і TTL-період, зазначений в цьому повідомленні, відрізняється від залишку TTL-періоду, в межах якого це повідомлення було отримано.

На етапі моніторингу на основі ознак, вилучених з вхідних DNS-повідомлень щодо певного доменного імені, будуються вектори ознак. Вони мають такий же вигляд, як і шаблон (2).

Виявлення аномалій в DNS-трафіку. На рівні мережного аналізу виявлення бот-мереж здійснюється із залученням апарату штучних імунних систем (ШІС) [29], які оперують з поняттям «свого-чужого» і дозволять виявляти аномальний DNS-трафік, який свідчить про присутність бот-мереж в корпоративній мережі.

Для здійснення розмежування «свій-чужий» в роботі використано концепцію позитивного відбору [30]. Виявлення аномалій включає наступні етапи: побудова шаблонів аномального DNS-трафіку, генерація детекторів, могніторинг і розпізнавання аномалій.

Шаблони аномального DNS-трафіку відповідають поведінці бот-мереж та засновані на знаннях стосовно ознак DNS-трафіка бот-мереж. Значення кожної ознаки в шаблоні були нормалізовані відповідно до розкиду даних. Нормовані дані були розділені на інтервали $d = (\max - \min) / (2^m - 2)$, де m визначає кількість двійкових чисел, використовуваних для кодування. Кожен шаблон був закодований в двійковій формі відповідно до інтервалу n, до якого належить ознака $n \in [1; 2^m - 2)$. Якщо значення ознаки знаходиться поза межами інтервалу [min; max], то вона була закодована як m 0 і 1 відповідно.

Використовуючи алгоритм позитивного відбору, була згенерована множина детекторів D, які мають високу спорідненість із зловмисними шаблонами.

Метою стадії розпізнавання є ідентифікація високої спорідненості детектора з вхідними даними. Це вказує на виявлення аномалій, а отже, наявність бот-мереж в мережі.

Для того, щоб визначити значення спорідненості, використано правило співпадіння r-суміжних бітів. Згідно з цим правилом, два рядки довжини l

співпадають, якщо вони збігаються принаймні в r суміжних бітових позиціях [31]. Співпадіння рядка з детектором розглядається як виявлення аномальної поведінки в DNS-трафіку.

ПРИМІТКА. Вектори ознак нормовані і кодуються таким же чином, як шаблони.

З метою досягнення високої ймовірності виявлення аномалій для створеної множини шаблонів було досліджено оптимальні значення числа детекторів N_R і параметра r. У табл. 2 і на рис. 1 показано, що значно вища ймовірність виявлення аномалій P_f може бути досягнута при значенні r = 32, але в цьому випадку необхідна генерація великої кількості детекторів. Таким чином, використання апарату ШІС дозволяє з високою ефективністю виявляти аномалії в DNS-трафіку.

Таблиця 2 – **Ймовірність виявлення аномалій з різними значеннями параметрів для алгоритма позитивного відбору**

m	**1**	**N_s * 1000**	**N_R * 100**	**Параметр, *r***	**Ймовірність виявлення аномалій, P_f,%**
2	64	10	10	8	0,88
2	64			16	14,15
2	64			32	33,51
2	64		50	8	0,98
2	64			16	29,87
2	64			32	85,77
2	64		100	8	1,02
2	64			16	54,25
2	64			32	99,3
2	64	100	100	8	2,01
2	64			16	15,3
2	64			32	25,6
2	64		500	8	2,55
2	64			16	23,36
2	64			32	72,88
2	64		1000	8	2,9
2	64			16	75,36
2	64			32	99,8

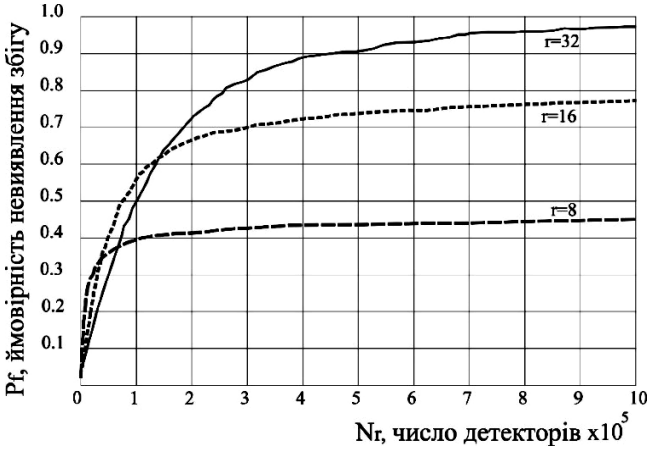


Рис. 1. Залежність ймовірності виявлення аномалій P_F від величини r і числа детекторів N_r

Схема функціонування інформаційної технології в узагальненому вишляді представлена на рис. 2.

3. Експерименти

Для визначення ефективності запропонованої технології виявлення бот-мереж на основі поведінки бот-мереж в корпоративній мережі були проведені серії експериментів. Процедура випробувань була такою ж, як представлено в [16]. В якості бази для дослідження була розгорнута кампусна мережа Хмельницького національного університету.

Було розроблено шкідливе програмне забезпечення, яке емулювало поведінку ботів в DNS-трафіку. Створене програмне забезпечення мало властивості ботів бот-мереж з централізованою архітектурою. Поведінка ботів, які емулювалися, відтворювала чотири типи сценаріїв, які застосовували технології ухилення. Кожен експеримент використовував один сценарій.

Кожен бот в процесі функціонування виконав 600 DNS-запитів. Згенероване програмне забезпечення мало можливість виконувати різні види сценаріїв функціонування бот-мереж відповідно до їх етапів життєвого циклу. Кожен експеримент включав різні способи інфікування (завантаження з вебсайту, завантаження з поштової скриньки, копіювання з флеш-диска). Для початкового з'єднання з C&C-серверами використовувались різні системні порти. Крім того, кожен бот виконував різні шкідливі дії, та всі боти підтримували функцію обслуговування. Через 24 години функціонування боти видалили самі себе. Маючи велику кількість способів відтворення шкідливої активності, були проведені 36 експериментів (9 експериментів для 4 типів технологій ухиленння).

ПРИМІТКА. Всі експерименти були проведені в межах університетської мережі і не могли завдати ніякої шкоди хостам і стабільній роботі мережі.

Також були зареєстровані і використовувались кілька «підроблених» доменних імен, які імітували діяльність C&C-серверів бот-мереж [16]. Крім того, було розроблено програмне забезпечення, яке імітувало активність користувачів і виконувало легітимні DNS-запити.

Головною метою експериментів було з'ясування переваг і недоліків розробленої технології. Для

дослідження ефективності запропонованої інформаційної технології було проведено чотири типи експериментів. Ми були зацікавлені в результатах, отриманих попереднім BotGRABBER [16]; шляхом застосування методу виявлення бот-мереж на основі аналізу поведінки ботів на хості (аналіз на хостовому рівні), описаного в розділі 4.1; шляхом застосування методу на основі DNS для виявлення бот-мереж з використанням штучної імунної системи (аналіз на мережному рівні), описаного в розділі 4.2; новим BotGRABBER, який поєднує аналіз як на хостовому, так і на мережному рівні.

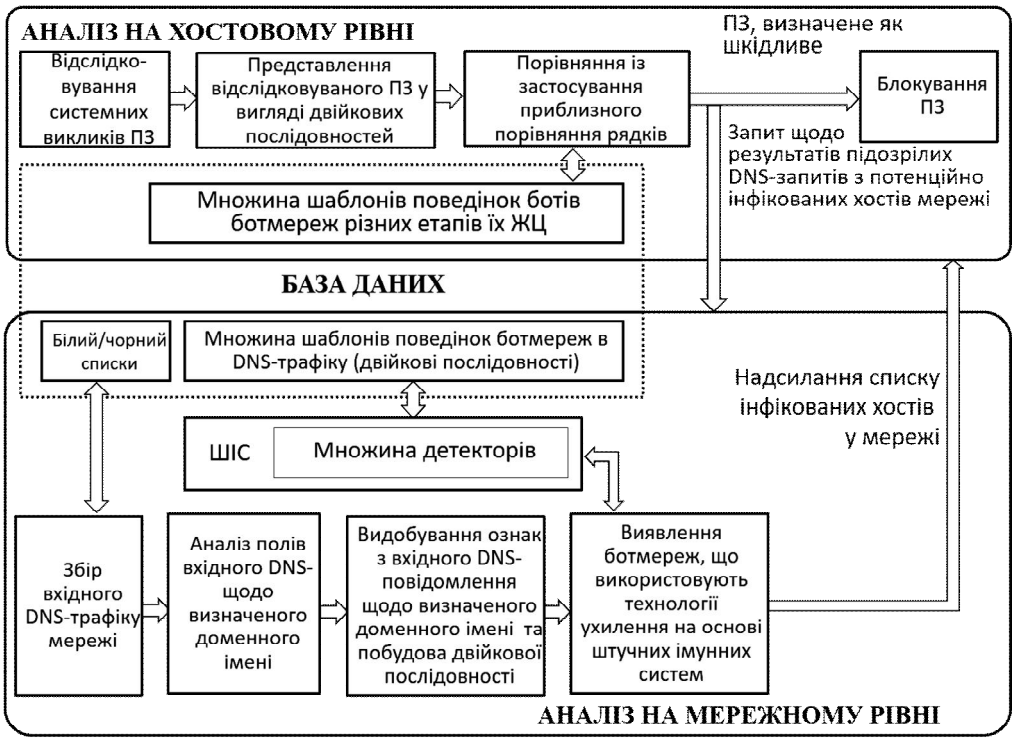


Рис. 2. Схема функціонування технології виявлення бот-мереж

Таблиця 3 демонструє результати експериментів, згаданих вище. Як видно з результатів, попередня система BotGRABBER в загальному показала хороші і навіть кращі результати, в порівнянні з методом виявлення бот-мереж на основі аналізу на хостовому рівні.

Проте, попередній BotGRABBER продемонстрував найгірші результати для виявлення технології ухилення бот-мереж «потік доменів». Якщо проаналізувати результати виявлення бот-мереж на хостовому рівні, використовувані окремо, то можна побачити, що вони є досить низькими. І, нарешті, використання системи BotGRABBER, яка включає в себе аналіз як на хостовому рівні, так і на мережному, продемонстрував більш значні результати виявлення, в порівнянні з попереднім.

Таблиця 3 – **Експериментальні результати виявлення бот-мереж: виявлення (TP) і хибні спрацювання (FP)**

Назва технології ухилення	**Виявлення за допомогою BotGRABBER:**							
	попереднього [16]		**нового, тільки аналіз на рівні:**					
			хостовому		**мережному**		**хостовому та мережному**	
	TP,%	**FP,%**	**TP,%**	**FP,%**	**TP,%**	**FP,%**	**TP,%**	**FP,%**
періодична зміна IP-відображення	99	2	91	3	99	1	99	1
«потік доменів»	89	6	77	6	90	6	96	6
«швидкозмінні» мережі	97	4	84	5	95	3	99	4
DNS-тунелювання	94	4	80	5	90	4	96	4
Всього	**94,75**	**4**	**83**	**4,75**	**93,5**	**3**	**97,5**	**3,75**

Таким чином, результати технології виявлення бот-мереж на основі поведінки бот-мереж в корпоративній мережі (реалізовано у вигляді системи BotGRABBER) показали високу ефективність (до 97%). Варто зауважити, що як попередня, так і нова система BotGRABBER показала аналогічні значення хибних спрацювань на рівні близько 3-5%.

Висновки

У роботі представлено нову технологію виявлення бот-мереж на основі аналізу поведінки бот-

мереж в корпоративній мережі. Виявлення бот-мереж здійснюється шляхом комбінації двох розроблених методів: за допомогою аналізу на мережному рівні та аналізу на хостовому рівні.

Перший метод дозволяє аналізувати поведінку програмного забезпечення на хості, що може вказувати на можливу присутність бота безпосередньо на хості і надає можливість здійснювати виявлення шкідливого програмного забезпечення.

Другий метод включає в себе моніторинг і аналіз DNS-трафіку, що дозволяє зробити висновок про інфікування мережних хостів ботами бот-мережі.

На основі розробленої технології було покращено ефективний інструмент виявлення бот-мереж BotGRABBER. Він здатний виявляти боти, які використовують такі технології ухилення від виявлення як періодична зміна IP-відображення, «потік доменів», «швидкозмінні» мережі та DNS-тунелювання.

Використання розробленої системи дозволяє виявляти інфіковані ботами бот-мереж хости і локалізувати шкідливі програми з високою ефективністю – до 96%, а також демонструє низькі помилкові спрацьовування – на рівні 3-5%. Особливість запропонованого підходу полягає в тому, що виявлення бот-мереж є «невидимим» для власників бот-мереж.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ (REFERENCE)

1. Komar, M., Kochan, V., Sachenko, A. and Ababii, V. (2016), “Improving of the security of intrusion detection system”, *2016 International Conference on Development and Application Systems (DAS)*, pp. 315–319.
2. Harsha, T., Asha, S. and Soniya, B. (2016), “Feature selection for effective botnet detection based on periodicity of traffic”, *Information Systems Security*: 12th International Conference, ICISS 2016, Jaipur, India, December 16-20, 2016, Proceedings, pp. 471–478, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-49806-5_26.
3. Zuzcak, M. and Sochor, T. (2017), “Behavioral analysis of bot activity in infected systems using honeypots”, *Communications in Computer and Information Science*, Springer, Cham, vol. 718, pp. 118-133.
4. Sochor, T. and Zuzcak, M. (2015), “Attractiveness Study of Honeypots and Honeynets in Internet Threat Detection”, *22nd Int. Conf. Computer Networks: Communications in Computer and Information Science*, Springer International, Cham, 2015, pp. 69-81.
5. Wang, H., Jia, Q., Fleck, D., Powell, W., Li, F. and Stavrou, A. (2014), “A moving target DDoS defense mechanism”, *Computer Communications*, vol. 46, pp. 10-21.
6. Javadianasl, Y., Manaf, A. A. and Zamani, M. (2017), “A Practical Procedure for Collecting More Volatile Information in Live Investigation of Botnet Attack”, *Multimedia Forensics and Security*, Springer, pp. 381-414.
7. Khattak, S., Ramay, N. R., Khan, K. R., Syed, A. A. and Khayam, S. A. (2014), “A taxonomy of botnet behavior, detection, and defense”, *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 16, no. 2, pp. 898-924.
8. Wang, P., Wu, L., Aslam, B. and Zou, C. C. (2015), “Analysis of Peer-to-Peer botnet attacks and defenses”, *Propagation phenomena in real world networks*, Springer International Publishing, pp. 183-214.
9. Bhuyan, M. H., Bhattacharyya, D. K. and Kalita, J. K. (2015), “An empirical evaluation of information metrics for low-rate and high-rate DDoS attack detection”, *Pattern Recognition Letters*, vol. 51, pp. 1-7.
10. Hoque, N., Bhuyan, M. H., Baishya, R. C., Bhattacharyya, D. K. and Kalita, J. K. (2014), “Network attacks: Taxonomy, tools and systems”, *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 40, pp. 307-324.
11. Wang, B., Zheng, Y., Lou, W. and Hou, Y. T. (2015), “DDoS attack protection in the era of cloud computing and software-defined networking”, *Computer Networks*, vol. 81, pp. 308-319.
12. Pathan, A. S. K. (2016), *Security of self-organizing networks*, MANET, WSN, WMN, VANET, CRC press, 638 p.
13. Branitskiy, A. and Kotenko, I. (2015), “Network Attack Detection Based on Combination of Neural, Immune and Neuro-Fuzzy Classifiers”, *IEEE 18th International Conference on Computational Science and Engineering (CSE)*, pp. 152-159.
14. Komar, M., Sachenko, A., Bezobrazov, S. and Golovko, V. (2017), “Intelligent Cyber Defense System Using Artificial Neural Network and Immune System Techniques”, Ginige A. et al. (eds), *Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Applications. ICTERI 2016*, pp. 36-55.
15. Bezobrazov, S., Sachenko, A., Komar, M. and Rubanau, V. (2016), “The methods of artificial intelligence for malicious applications detection in Android OS”, *International Journal of Computing*, vol. 15, no. 3, pp. 184-190.
16. Pomorova, O., Savenko, O., Lysenko, S., Kryshchuk, A. and Bobrovnikova, K. (2016), “Antievasion Technique for the Botnets Detection Based on the Passive DNS Monitoring and Active DNS Probing”, *International Conference on Computer Networks: Springer International Publishing*, pp. 83-95.
17. Schiller, C., R. Binkley and J. Botnets (2017), The Killer Web Application, *Syngress Publishing*, 464 p.
18. Yadav, S. and Reddy, A.L.N. (2011), “Winning with DNS failures: Strategies for faster botnet detection”, *Proc. of the 7th International ICST Conference on Security and Privacy in Communication Networks*, pp. 446-459.
19. Salusky, W. and Danford, R. (2007), *Know your enemy: Fast-flux service networks. The Honeynet Project*, available at: http://www.honeynet.org/book/export/html/130.
20. Nazario, J. and Holz, T. (2008), “As the Net Churns: Fast-Flux Botnet Observations”, *Conference on Malicious and Unwanted Software (Malware08)*, pp. 24-31.
21. *DAMBALLA. Botnet Communication Topologies. Understanding the intricacies of botnet command-and-control* (2019), available at: https://www.damballa.com/downloads/r_pubs/ WP_Botnet_Communications_Primer.pdf.
22. Bilge, L., Kirda, E., Kruegel, C. and Balduzzi, M. (2011), “EXPOSURE: Finding Malicious Domains Using Passive DNS Analysis”, *NDSS*, pp. 1-17.
23. Farnham, G. and Atlasis, A. (2013), *Detecting DNS Tunneling. SANS Institute InfoSec Reading Room*, pp. 1-32.
24. Dietrich, C.J., Rossow, C., Freiling, F. C., Bos, H., van Steen, M. and Pohlmann, N. (2011), “On Botnets that use DNS for Command and Control”, *Proceedings of European Conference on Computer Network Defense*, pp. 9-16.
25. Guy, J. (2009), *A study of DNS*, available at: http://armatum.com/blog/2009/ a-study-of-dns/.
26. Jorma, Tarhio and Esko, Ukkonen. (1993), “Approximate BoyerMoore String Matching”, *SIAM Journal on Computing*, vol. 22, no. 2, pp. 243-260.

27. Guy, J. (2009), *Dns part ii: visualization*, available at: http://armatum.com/ blog/2009/dns-part-ii/.
28. Pomorova, O., Savenko, O., Lysenko, S., Kryshchuk, A. and Bobrovnikova, K. (2015), "A technique for the botnet detection based on DNS-traffic analysis", *International Conference on Computer Networks*, Springer Int. Publishing, pp. 127-138.
29. Dipankar, D. (2013), "Artificial immune systems", *Encyclopedia of Sciences and Religions*, pp. 136–139 .
30. Zhang, F. and Qi, D. (2012), "A positive selection algorithm for classification", *J. Comput. Inf. Syst*, pp. 207–215.
31. Goswami, M. and Bhattacharjee, A. (2014), "Detector generation algorithm for self-nonself detection in artificial immune system", *International Conference for Technology on Convergence of Technology (I2CT)*, pp. 1–6.

Received (Надійшла) 11.11.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Лисенко Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна;
Sergii Lysenko – PhD, Associate Professor of Computer Engineering & System Programming Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine;
e-mail: sirogyk@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-7243-8747

Бобровнікова Кіра Юліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування, Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна;
Kira Bobrovnikova – PhD, Associate Professor of Computer Engineering & System Programming Department, Khmelnytskyi National University, Khmelnytskyi, Ukraine;
e-mail: bobrovnikova.kira@gmail.com; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1046-893X

Харченко В'ячеслав Сергійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет «ХАІ», Харків, Україна;
Vyacheslav Kharchenko – Full Doctor, Full Professor, Head of Departments of Computer Systems, Networks and Cybersecurity, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: v.kharchenko@csn.khai.edu; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-5352-077X

Методы выявления бот-сетей в компьютерной системе

С. Н. Лысенко, К. Ю. Бобровникова, В. С. Харченко

Аннотация. **Объект**. Процесс обнаружения бот-сетей в корпоративных сетях на основе анализа сетевого трафика и поведения программного забезпечееня компьютерных системах. **Предмет**. Методы обнаружения бот-сетей в компьютерных системах. **Цель**. Повышение достоверности обнаружения бот-сетей путем разработки методов их обнаружения бот-сетей в корпоративных сетях. **Результаты**. Предложен новый подход к выявлению бот-сетей в корпоративных сетях на основе анализа поведения ботов. Обнаружение бот-сетей осуществляется путем применения разработанных двух методов: с помощью анализа на сетевом уровне и на хостовой уровне. Первый метод позволяет анализировать поведение программного обеспечения на хосте, что может указывать на возможное присутствие бота непосредственно на хосте и обнаружения вредоносного программного обеспечения, тогда как второй метод включает в себя мониторинг и анализ DNS-трафика, также позволяет сделать вывод об инфицировании сетевых хостов ботами бот-сети. На основе предложенных методов был разработан эффективный инструмент обнаружения бот-сетей - BotGRABBER. Он способен обнаруживать боты, которые используют такие методы уклонения от обнаружения: периодическая смена IP-отображения (cycling of IP mapping), «поток доменов» (domain flux), "быстро меняющиеся» сети (fast flux) и DNS-туннелирования (DNS tunneling). **Выводы**. Использование разработанной системы позволяет обнаруживать хосты, инфицированные ботами бот-сетей и локализовать вредоносные программы с высокой эффективностью - до 96%, а также демонстрирует низкий уровень ложных срабатываний - на уровне 3-5%. Особенность предлагаемого подхода состоит в том, что обнаружение бот-сетей является «невидимым» для владельцев бот-сетей.

Ключевые слова: бот; бот-сеть; DNS-трафик; поведение ботов бот-сетей; вредоносное программное обеспечение; искусственные иммунные системы; детекторы; положительный алгоритм отбора.

Methods for detecting bot nets in computer systems

S. Lysenko, K. Bobrovnikova, V. Kharchenko

Abstract. **Object**. The process of the botnets detection in the corporate area networks based on network traffic analysis and on the of computer systems software's behavior. **Subject**. Methods for botnets detection in computer systems. **Goal**. Increasing of the botnet detection efficiency by developing new methods for its detection in the corporate networks. **Results**. A new approach for the botnet detection in the corporate area networks based on the analysis of the bots' behavior is proposed. The detection of botnets is accomplished by applying the developed two methods: by means of network-level and host-level analysis. The first method allows you to analyze the behavior of the software on the host, which may indicate the possible presence of the bot directly on the host and the detection of malicious software, while the second method involves monitoring and analysis of DNS traffic, which also allows to make a conclusion about infection of network hosts with botnets. Based on the proposed methods, an effective tool for botnet detection - BotGRABBER - was developed. It is capable of detecting bots that use such evasion methods as IP mapping, fast flux, domain flux, and DNS tunneling. **Conclusions**. The usage of the developed system allows to detect the hosts infected with botnet and localize malware with high efficiency - up to 96%, and also shows low rate of false positives 3-5%. A feature of the proposed approach is that the detection of botnets is "invisible" to botnet owners.

Keywords: bot; botnet; DNS traffic; evasion technique; malware; artificial immune systems; detectors; positive selection algorithm.

UDC 004.05 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.14**

O. Milov[1], M. Kostyak[2], S. Milevskyi[1], H. N. Rzaev[3]

[1] S. Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine
[2] National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine
[3] Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Azerbaijan

INFORMATION SECURITY INVESTMENT MODEL: RESOURCE REPRESENTATION AND ORGANIZATIONAL TRAINING

Abstract. Information technology (IT) protection is a key economic concern for organizations. While research in the field of investment in IT security is growing rapidly, they lack the theoretical basis for combining economic and technological phenomena and research directions. The proposed theoretical model is based on the use of the theory of organizational behavior and resource representation. The combined application of these theories allows, within the framework of one model, to present the organizational effects of training that arise when developing the protection of organizational resources using countermeasures of IT security. Identified approaches to the study of investments in information security, which boil down to the following: microeconomic approaches based on game theory, financial analysis based on return on investment (ROI), net present value (NPV) and internal rate of return (IRR), and management approaches based on decision theory, risk management and organization theory. The combination of various theories and approaches leads to the formation of a multi-theoretical model, which allows you to combine the methods of these research areas within the framework of a comprehensive model based on the resource representation and the theory of organizational learning. The difficulties of developing a theoretical model for investment in information security are indicated, namely: the diversity of the nature of countermeasures, covering strategic and operational issues, taking into account legal, technical and organizational aspects; the intended purpose of investments in information security (risk reduction, not profit); the complementarity of the prospects for the operational and strategic periods. Various points of view on investment problems are presented, namely, resource representation and representation in the framework of the theory of organizational learning. The proposed approach allowed us to build an integrated model of investment in information security. Answers to questions arising from the analysis of the integrated model of investment in information security can not only determine future research, but also have managerial consequences that will help firms make informed investment decisions in the field of information security.

Keywords: information security; investment; resource representation; organizational theory of learning; integral investment model.

Introduction

The protection of information technology (IT) today will remain a key task for organizations that need to protect their IT systems, data, intellectual property and business processes from attacks, misuse or technical failures [1-5]. IT threats can lead, for example, to disruption of production and service processes, as well as data theft, which in turn leads to economic damage, including loss of productivity and income, loss of reputation [6]. Many security incidents are related to cybercrime, which can be considered as a growing industry [7]. Industries respond to emerging information security threats with high investments in IT security. The IT security landscape is permeated not only with technological, but also with financial problems. Given budgetary constraints, the key economic issue for organizations is the question of which of their assets (processes, systems, etc.) needs which level of protection, which security countermeasures (for example, firewalls, intrusion detection systems, security training or security policies) provide this protection and how much you need to spend on such countermeasures [8, 9].

A wide range of approaches from various disciplines, including microeconomics [10, 11], finance [12], risk management [13] and organization theory [14], has been proposed to analyze the economic problems of IT security. An analysis of these approaches allows us to formulate three research questions:

1. Why and how can one use a multi-theoretical perspective based on a “resource view” and a “theory of organizational learning” to structure and guide research in the field of investment in information security?
2. To what extent has literature contributed to key issues of investment in information security?
3. What gaps in research into investment in information security have yet to be addressed?

The approach based on generally accepted “views based on resources” and “theory of organizational learning” is based on the desire to provide both static and dynamic (temporary) protection of organization resources at the company level. Adopting only one theory inevitably leads to ignoring a static or dynamic perspective. Using a multi-theoretical approach allows us to propose a new theoretical model of investment in information security.

Literature review on investment in information security. The effectiveness and cost-effectiveness of investments in information security has long been an important research topic [15]. Currently, there are three interdisciplinary areas of research related to investments in information security: (1) microeconomic approaches based on game theory (for example, [10, 16]); (2) financial analysis based on return on investment (ROI), net present value (NPV) and internal rate of return (IRR) (for example, [12, 17, 18]); and (3) management approaches based on decision theory (for example, [19]), risk management (for example, [13, 17]) and organization theory (for example, [14, 20]). The combination of various theories and approaches leads to the formation of a multi-theoretical model, which allows to use the methods of these areas of research into a

comprehensive model based on the resource representation and the theory of organizational learning.

The development of a theoretical model for investment in information security is a difficult task because:

(1) the nature of countermeasures is diverse, encompassing strategic and operational issues, taking into account legal, technical and organizational aspects;

(2) investments in information security are not intended to generate profit, but to reduce risk, that is, they are successful if "nothing happened" and, therefore, potential results (benefits or losses) are often intangible [15]. Examples of intangible results are the benefits of regulatory compliance and public trust. Investing in information security processes or products does not provide direct returns, but can have a positive impact on an organization's effectiveness if it reduces potential risks [22];

(3) The complementarity of ex-ante and ex-post perspectives should be taken into account. First, approaches that use the ex-ante perspective are aimed at providing decision support by assessing the costs and benefits of possible investments [22]. Secondly, approaches that use the ex-post perspective reflect investments made in the past and evaluate whether the budget allocation of the company was effective and efficient [22].

The first two of these problems can be solved based on a resource-based view, because (a) a variety of assets, such as systems, data or processes that need to be protected, can be modeled as resources and (b) both tangible and intangible resources, such as firewalls and security knowledge, can be explicitly considered [21]. The theory of organizational learning is particularly suitable for solving the third problem, since it takes into account the ability of the company to study and integrate time and dynamic feedback cycles.

In general, both the resource-based view and the theory of organizational learning, which are recognized theories in the IS literature [15, 23], provide an appropriate theoretical basis for researching investments in information security.

Multi-theoretical view on investment in information security

The literature on investments in information security can be evaluated from two points of view: from the point of view of the resource representation and the theory of organizational learning. These two points of view complement each other:

(1) A resource-based view is inherently static and focuses on the possession of resources and capabilities [24-25]. This means that it does not take into account the dynamics and time effects. In contrast, organizational learning theory takes into account effects such as learning progress achieved as a result of past mistakes of the organization over time, which ensures that the organization converts "information into valuable knowledge, which, in turn, increases its ability to long-term adaptation" [26]. Thus, it allows the organization to respond to dynamically changing environments.

(2) The resource-based view, as proposed in [27], enters into force and covers the main factors (see Fig. 1) that must be taken into account when making investment decisions [21], for example, the macroeconomic, competitive and target environment of the company. The advantage of a resource-based presentation is that it theorizes the various components of the firm, its environment and relationships with each other, and unlike the organizational theory of learning, does not focus on the organization and its components in detail.

Point of view "resource analysis"

The origins of resource-based representations, one of the most influential theories in the history of control theory [28], can be traced back to [29-32]. The key proposal is that the company should acquire and control valuable, rare, unique and irreplaceable resources and opportunities to achieve a sustainable competitive advantage [25, 33-35].

According to [33], the firm's resources include "all assets, opportunities, organizational processes, attributes of the firm, information, knowledge, etc., controlled by the firm, which allow the firm to develop and implement strategies that improve its efficiency and effectiveness.

According to [21], investments in information security are a subtype of (general) investments in IT, and therefore a resource-based view is suitable for generating investments in information security for three reasons:

(1) Non-security IT resources or assets (IT systems, data, processes, etc.) that need to be protected, and IT security resources that provide protection, can be modeled as resources, covering both tangible resources, such as firewalls, and intangible resources, including knowledge of security [21].

(2) A resource-based view was used in the IS literature to structure investments in information security. For example, [36] uses a resource-based view to evaluate hypotheses regarding organization size, security breaches, and discusses the relationship of resource-based views to security investments. The central elements of a resource-based approach can also be found in [37].

(3) The resource-based presentation has already served as the theoretical basis for literature reviews in the field of IS, such as the "Model of Business Value in the Field of Information Technology" [37]. We will focus on a resource-based presentation that has been adapted to the investment context of information security [21], as shown in Fig. 1 and described in table 1.

In Fig. 1, the relationship between constructs means "can improve." Impacts M_1, C_1 and C_2 describe external factors that affect the investment decisions of the information security of the organization. Country characteristics, such as level of development or government regulations, affect the firm's investment decisions in the field of information security, which is reflected as a result of the impact of M_1. Competitiveness, regulation, technological changes and other industry-specific factors (C_1) and trading partners such as buyers and suppliers (C_2) influence the firm's decision to invest in information security.

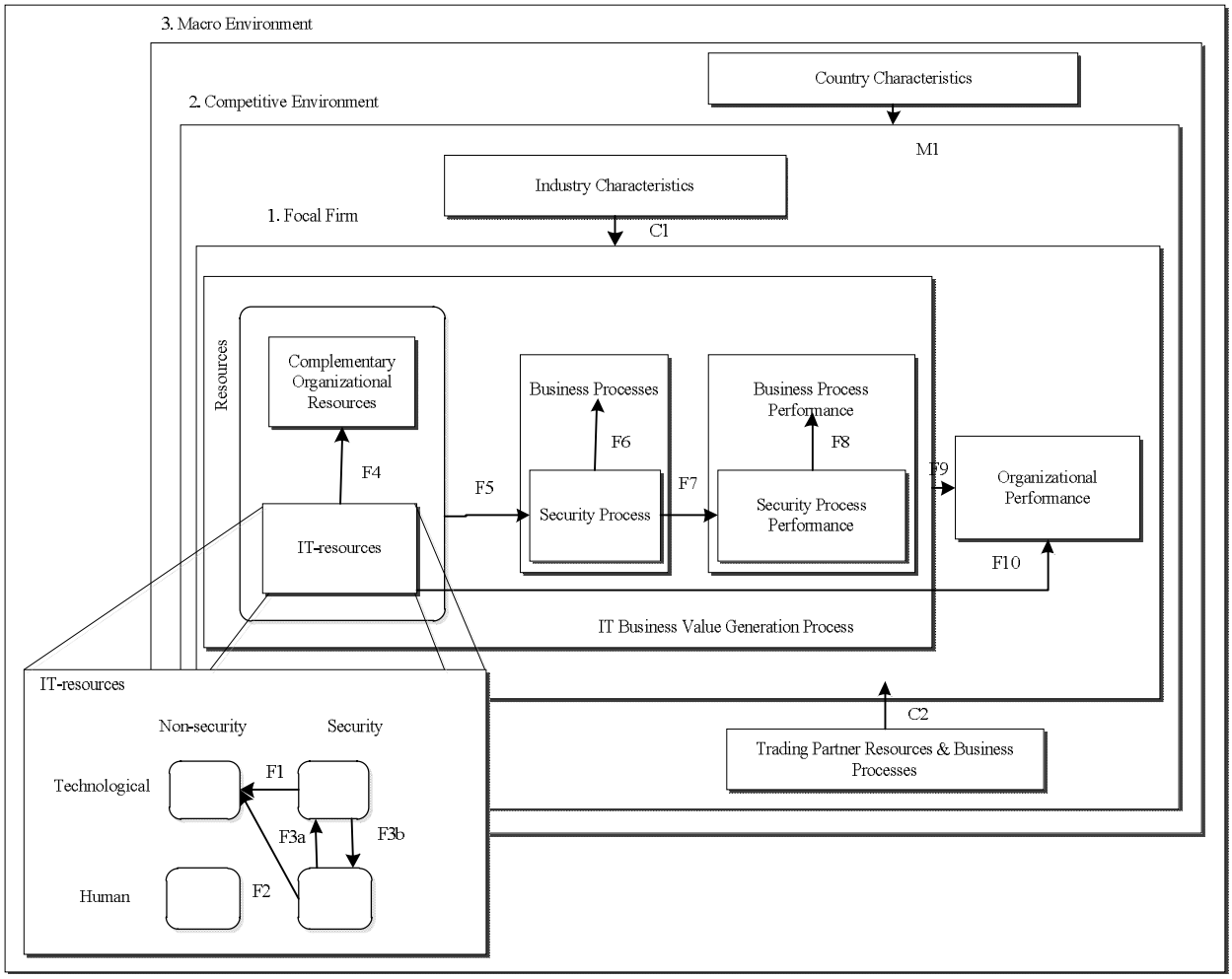


Fig. 1. Resource-oriented presentation of investments in information security

Table 1 – **Definitions and examples of model designs**

Design	Definition and examples
1. Target company	
Resources: - IT resources: - technological - human - security Additional organizational resources	Hardware and software, for example, common technologies and technological solutions for the entire enterprise, procurement, sales, etc. [27] Technical and managerial IT skills, such as training, experience, knowledge, judgment, intelligence and relationships [33] Resources protecting other resources, such as a firewall, intrusion detection system, antivirus software, biometric scanning authentication. Organizational and physical resources that complement IT, such as policies, rules, organizational structure and culture [27], as well as workers, offices and equipment
Processes: - business process - security process	A specific streamlining of work activities and clearly defined inputs and outputs [46], for example, order collection, PC assembly, distribution [27] Processes that help ensure the confidentiality, integrity and accessibility of a firm [47]
Performance: Business process performance Security process performance Organization performance	The operational efficiency of certain business processes [27], for example, customer satisfaction [48], turnover [49], gross margin and quality [45] Operational efficiency of security processes. For example, no registration (FTE), false match rate (FMR) in a biometric authentication system (OECD 2004). The overall effectiveness of the company, including productivity, efficiency, profitability, market value, competitive advantage, etc. [27]
2. Competitive environment	
Industry characteristics Partner Resources and Business Processes	Factors that influence the use of IT in the main company to create value for the business, for example, competitiveness, regulation, technological changes [27] IT and non-IT resources and business processes of trading partners such as buyers and suppliers [27]
3. Macro environment	
Country characteristics	Macro factors forming IT applications and creating value for IT businesses, for example, level of development, basic infrastructure and culture [27]

Impacts from F_1 to F_{10} reflect the impact of investments in various IT security resources within a specialized firm. F1 refers to the impact of IT security technology resources on non-security technology resources, such as investments in a firewall to protect non-security IT resources, such as data (eg, [11, 38, 39]). Since a significant number of security incidents are caused by humans and not by technical failures or by intruders [40], F_2 considers the impact of IT security human resources on non-security technological IT resources. For example, security workshops and trainings focus on data protection. The impact of F_{3a} is related to the impact of IT security human resources on IT security technology resources (for example, seminars on the use of intrusion detection systems affect IDS) with F_{3b}, on the contrary (for example, systems that control file transfer, warn employees and therefore train them awareness).

The influence of F_4 is associated with the influence of IT resources on additional organizational resources, such as the creation of a company, access to which can be protected by authentication systems [41]. Investing in IT security resources and additional organizational resources can improve business processes or launch new ones (F_5 impact). The influence of F_6 refers to the fact that information security processes are designed to protect business processes and their main resources [42, 43]. Security processes are subtypes of business processes because "a security process is doomed to fail if it does not protect the business process" [44]. Security y process efficiency is measured using safety process performance (influence F_7). The performance of the security process affects the performance of the business process, which is the result of the relationship of the business process to the security process and is conceptualized as an F_8 impact. The process of creating value for the IT business, including resources, processes, business performance and security, directly affects the organization's productivity (F_9 impact). Impact F_{10} refers to the "direct relationship between IT and the overall performance of a firm, bypassing the impact of IT on business processes" [45].

Point of View "Theory of Organizational Learning"

In the context of growing globalization and accelerating the dynamics of the competitive environment, organizations need to constantly improve their products and processes in order to create and maintain competitive advantages [50]. The current interest in organizational learning among scientists and practitioners reflects this new competitive field [51].

According to [52], training is defined as "detection and correction of errors, and error as any feature of knowledge or knowledge that makes the action ineffective", and "detection and correction of error produces training, and the absence of one or both prevents learning". In addition, complex and poorly structured problems tend to be more ambiguous and are associated with a higher error rate, which makes it difficult to implement effective plans and actions [52]. Because investments in information security are complex issues, they will benefit from the perspective of Organizational Learning Theory, in particular because it describes how the effectiveness of solutions can be improved over time, taking into account past experience in feedback loops. In addition, the theory of organizational learning provides a dynamic view that can be used to continuously analyze the impact of investments on the level of security [15, 53-54]. Conceptually, the influences that influence decisions about investments in information security can be modeled as control variables, investments in IT security resources can be modeled as action strategies that lead to consequences such as increased security.

We use the Theory of Organizational Learning proposed [55] in the context of investments in information security (see Fig. 2 and Table 2). Organizational learning is defined as a change in the organization's knowledge because a firm gains experience over time (see [56, 57]). The model of Organizational learning includes three interrelated constructs: control variables, action strategies, and consequences. According to the original model [55], relationships are defined as "influencing" (arrows in Fig. 2).

Control variables (construction C_1) are the goals that the company seeks. As organizations bring their actions in line with their goals [55], regulatory variables influence investment decisions in the field of information security (impact I_1). For example, one of the goals may be compliance with state and industry regulations, such as the state law on the protection of information in information and telecommunication systems [58].

Action strategies (construct C_2) are "sequences of movements" [55] designed to achieve specific goals as measured by regulatory variables. In our case, action strategies are investments in IT security resources, such as implementing a firewall or intrusion detection system.

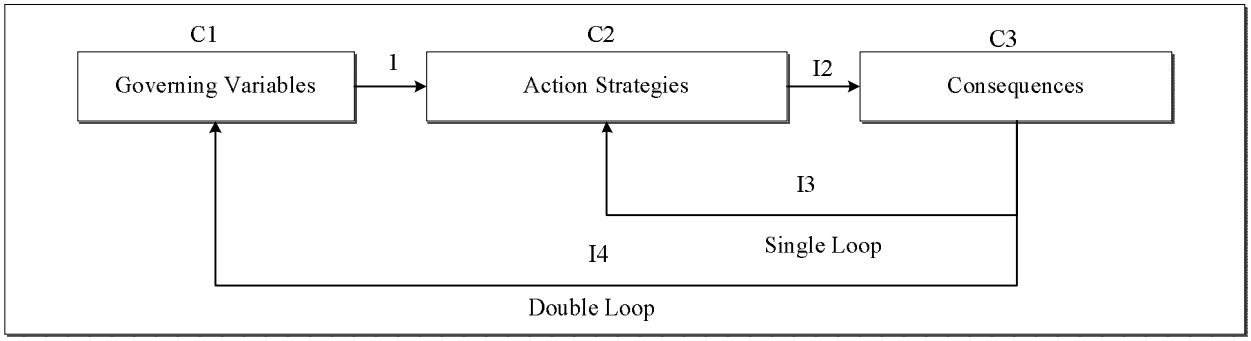


Fig. 2. The relationship of the elements of the organizational learning theory

Table 2 – **Model of constructions and impacts in the theory of organizational learning (see Fig. 2)**

N	Construct / influence	Definition	Example
C_1	Control variables	The goals that the company seeks to achieve [55]	State and industry regulations, the preference of the company for risks
C_2	Action strategies	Sequences used by actors in specific situations to maintain regulatory variables at a satisfactory level [55]	Investments in workshops, firewalls, encryption or access control methods
I_2	Impact of action strategies on consequences	Actions have implications for organizational effectiveness [55]	Investments in safety seminars lead to fewer unintended safety incidents caused by employees [59]
C_3	Consequences	Consequences of strategies, perceived or unintended, productive or counterproductive [55]	Reduce security incidents on the internal network or increase service availability
I_3	Single-loop training	When new action strategies are used within the same control variables. There is a change in action, but not in control variables [55]	If investing in workshops will reduce unintended safety incidents, the firm will learn lessons from efficiency and consider future investments in such trainings
	Double-loop training cycle	Ask questions and change control variables according to the consequences [65]	The organization adapts its investment strategy to changing environmental factors, such as investing in an advanced encryption system, to counter the increasing attacks of hackers

Strategies for action affect the consequences (impact I_2). An example is investment in security workshops, which are expected to reduce the number of security incidents caused by employees [60].

The implications (construct C_3) include all the results associated with investments in information security, whether they are intentional or unintentional, productive or counterproductive [55]. The consequences may correspond to regulatory variables if the firm has chosen an appropriate action strategy. Exemplary consequences are a decrease in the number of security incidents or an increase in the availability of services.

Impacts 3 (I_3) and 4 (I_4) are additional training opportunities that reflect how well the firm is trying to evaluate its investment decisions in the field of information security.

"Impact I_3" refers to one-cycle training, which includes adjustments consistent with the "existing set of rules and norms" [61], that is, it is not associated with changes in control variables [62]. For example, single-loop training occurs if the consequence of an action strategy is to reduce the number of security incidents, and the firm evaluates a positive result to make sure that the action strategy selected is the best without changing control variables.

The influence of I_4 refers to the learning process, which takes place in a double circuit and includes modifications of "fundamental rules and norms that underlie actions and behavior" [61, 63]. In the case of the investment scenario of information security, such training occurs if the consequences of investment decisions do not meet the objectives and prompt the company to overestimate the regulatory variables and invest differently. While single-loop learning is a common model of action, dual-loop learning provides "feedback and more effective decision making" [52]. Nevertheless, "the overwhelming number of training processes implemented in the organization is one cycle, since it is designed to identify and correct errors so that the work is completed and the action remains within the framework of the stated recommendations" [64].

Please note that constructions C_1 to C_3 with exposures I_1 and I_2 imply a time sequence, while exposures I_3 and I_4 describe two possibilities of a firm's assessment and training processes aimed at correcting their potential mistakes and making more effective and efficient decisions in the future.

Integrated Information Security Investment Model

We integrate the resource-based view, as shown in Fig. 1, and the theory of organizational learning, as shown in Fig. 2, into a multi-theoretical model (see Fig. 3), which retains the advantages of both initial theories: the integrated model takes into account the re-evaluation of investments in information security by dynamically including feedback from a single and double training cycle to adjust the corresponding action strategies. In addition, the integrated model creates company-specific components, such as business processes and security resources, which makes it compatible with an established set of research on resource-based presentation.

We combine the initial theories as follows: country features, industry characteristics and resources of trading partners, as well as business processes affect firms when making investment decisions in the field of information security; therefore, these factors are classified as regulatory variables. Control variables have an impact (impact 1 in Fig. 3) on investment decisions in IT security resources that are consistent with action strategies. For example, state regulations of a specific country require certain investments to undergo a safety audit [67]. Investments in technological or human information security resources are associated with action strategies. This means, in particular, that investments in training, education, or raising security awareness are part of action strategies as they relate to IT security human resources.

Investments in IT security resources have an impact on the consequences reflected in Impact 2. Implications include the impact of investments on non-security resources, security processes, security process performance, and overall organization performance. Impacts from 3 to 6 within the consequences are taken from a resource-based view. Please note that the "Business process" design in the "Consequences" refers to the business processes of the target company, while

the "Resources and business processes of the trading partner" design in "Control variables" refers to the business process of trading partners, which affect investment decisions in IT security of the main company and, therefore, are part of the Control Variables.

Single- and double-loop training cycles (effects 7 and 8) are taken from the theory of organizational learning; they represent feedback loops on the consequences for control variables and action strategies.

Definitions and examples of impacts presented in Fig. 3 are presented in table 3. The synthesis of knowledge about investments in information security was based on a new theoretical model of investments in information security (see Fig. 3). This model is based on the integral application of resource-based presentation and organizational learning theory.

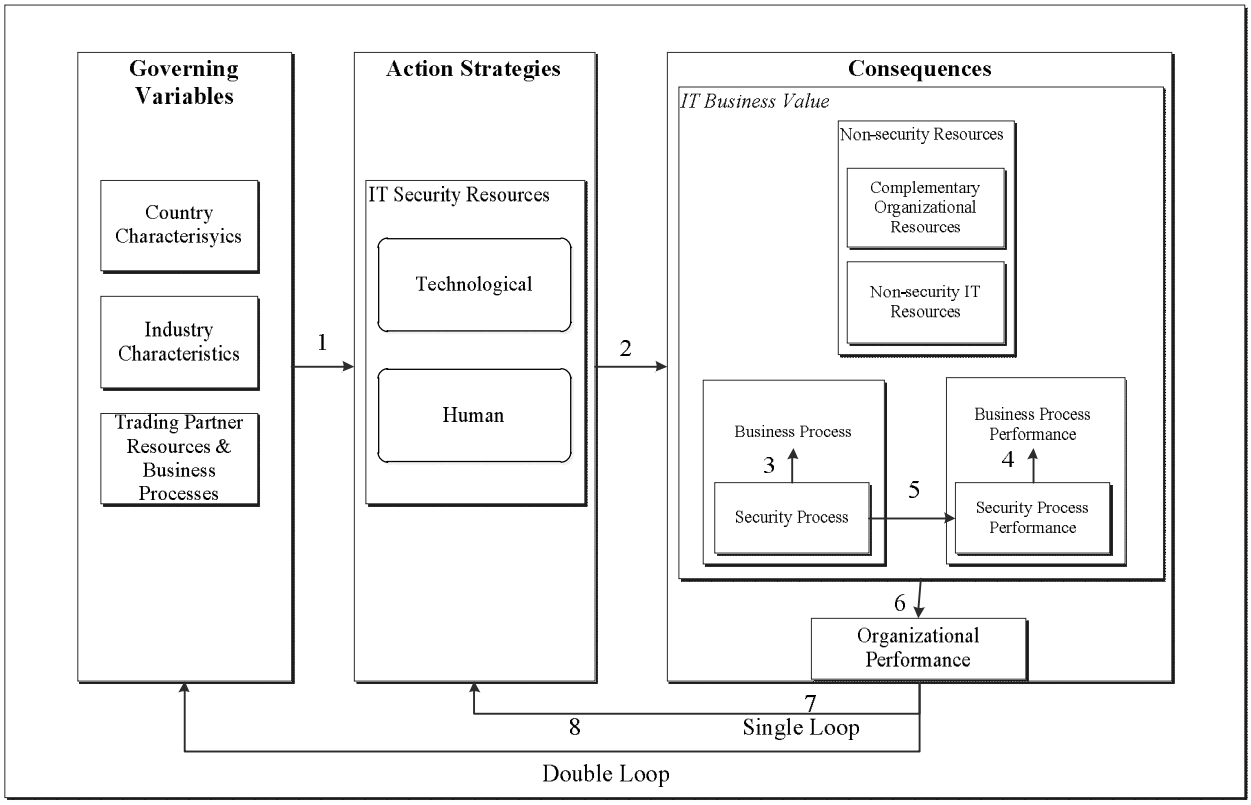


Fig. 3. Integrated model of investment in information security

Table 3 – **Impacts in the integrated model of investment in information security (see Fig. 3)**

No.	Influence	Definition	Example
1	The influence of control variables on action strategies	Country characteristics, industry characteristics, trading partner resources and business processes affect the investment decisions of the company in the field of information security [21, 27].	SOX requires companies to invest in additional IT security resources to undergo a security audit [67].
2	Impact of action strategies on consequences	Investing in IT security resources (technological or human) impacts non-security IT resources, additional organizational resources, processes and productivity [21, 27].	Investments in an IT security technology resource, such as biometric authentication systems, affect non-security IT resources, such as data and equipment, as they prevent unauthorized access to company premises.
3	The impact of security processes on business processes	Business processes are constantly threatened and must work continuously to ensure the success of the company [21, 42, 43].	Biometric authentication is a security process that directly affects the business process, because if the authentication system fails, work processes are violated [21].
4	Impact of the security process on the performance of the security process	The effectiveness of the security process is expressed by the performance of the security process.	The number of true / false or positive / negative authentication attempts measures the effectiveness of the authentication system.
5	Impact of security process performance on business process performance	Security process performance affects business process performance.	The low number of false rejections of the authentication system provides a continuous workflow.
6	The impact of IT business value on organizational performance	All resources, processes and productivity directly affect the overall performance of the company [27].	The effectiveness and productivity of an organization increases when the organization's workflow is rarely interrupted and quickly restored.
7	Single-loop training: the impact of consequences on action strategies	When new action strategies are used to serve the same control variables. There is a change in action, but not in control variables [55]. (watch the tab. 2)	If investing in workshops will reduce unintended safety incidents, the firm will learn lessons from efficiency and consider future investments in such trainings (watch the tab. 2).
8	Double loop Learning: Impact on Control Variables	Ask questions and modify control variables according to the consequences [66]. (see table 2)	The organization adapts its investment strategy to changing environmental factors, such as investments in an advanced encryption system, to withstand the increasing attacks of hackers (watch the table 2).

The answer to the questions posed by the study and the elimination of the gaps associated with this has not only academic significance, but also managerial consequences.

Conclusion

A model of investment in information security is presented, based on two well-established IS theories: a representation based on resources and the theory of organizational learning.

Answers to questions arising from the analysis of the integrated model of investment in information security can not only guide future research, but also have managerial consequences that will help firms make investment decisions in the field of information security.

REFERENCES

1. Anderson, R. (2001), "Why Information Security is Hard - An Economic Perspective", *Annual Computer Security Applications Conference (ACSAC 2001),* pp. 358-365.
2. Frost & Sullivan. 2013. "The 2013 (ISC)2 Global Information Security Workforce Study", available at https://www.isc2cares.org/uploadedFiles/wwwisc2caresorg/Content/2013-ISC2-Global-Information-Security-Workforce-Study.pdf.
3. Gartner (2011), "Magic Quadrant for Security Information and Event Management,", *Gartner RAS Core Research.*
4. Gartner (2012), "IT Key Metrics Data 2012: IT Enterprise Summary Report,", *Gartner RAS Core Research.*
5. Whitman, M. E. (2003), "Enemy at the Gate: Threats to Information Security," *Communications of the ACM*, pp. 91-95.
6. Bandyopadhyay, T., Mookeijee, V. S., and Rao, R. C. (2009), "Why IT Managers Don't Go for Cyber-Insurance Products," *Communications of the ACM* (52:11), pp. 68-73.
7. McAfee (2014), "Net Losses: Estimating the Global Cost of Cybercrime,", June (available at http://www.mcafee.com/uk/resources/reports/rp-economic-impact-cybercrime2.pdf).
8. Anderson, R., and Schneier, B. (2005), "Guest Editors' Introduction: Economics of Information Security," *IEEE Security & Privacy* (3:1), pp. 12-13.
9. Gordon, L. A., and Loeb, M. P. (2006), "Economic Aspects of Information Security: An Emerging Field of Research," *Information Systems Frontiers* (8:5), pp. 335-337.
10. Grossklags, J., Christin, N., and Chuang, J. (2008a), "Secure or Insure?: A Game-theoretic Analysis of Information Security Games," *Proceedings of the 17th International Conference on World Wide Web,* pp. 209-218.
11. Grossklags, J., Christin, N., and Chuang, J. (2008b), "Security and Insurance Management in Networks with Heterogeneous Agents," *Proceedings of the 9th ACM Conference on Electronic Commerce,* pp. 160-169.
12. Buck, K., Das, P., and Hanf, D. (2008), "Applying ROI Analysis to Support SOA Information Security Investment Decisions," *IEEE Conference on Technologies for Homeland Security,* pp. 359-366.
13. Hoo, K. J. S. (2000), *How much is enough? A Risk Management Approach to Computer Security,* Stanford University.
14. Cohen, F. (2006), IT Security Governance Guidebook with Security Program Metrics on CD-ROM, *CRC Press.*
15. Kwon, J., and Johnson, M. E. (2014), "Proactive Versus Reactive Security Investments in the Healthcare Sector," *MIS Quarterly* (38:2), pp. 451-471.
16. Sim, W., Kong, X., He, D., and You, X. (2008), "Information Security Problem Research Based on Game Theory," in *International Symposium on Electronic Commerce and Security,* pp. 554-557.
17. Bojanc, R., and Jerman-Blazic, B. (2008a), "Towards a Standard Approach for Quantifying an ICT Security Investment," *Computer Standards & Interfaces* (30:4), pp. 216-222.
18. Bojanc, R., and Jerman-Blazic, B. (2008b), "An Economic Modelling Approach to Information Security Risk Management," *International Journal of Information Management* (28:5), pp. 413-422.
19. Huang, C. D., and Goo, J. (2009), "Investment Decision on Information System Security: A Scenario Approach," in *AMCIS 2009 Proceedings.*
20. Hagen, J. M., Albrechtsen, E., and Hovden, J. (2008), "Implementation and Effectiveness of Organizational Information Security Measures," *Information Management & Computer Security* (16:4), pp. 377- 397.
21. Weishaupl, E., Yasasin, E., and Schiyen, G. (2015), "IT Security Investments through the Lens of the Resource-based View: A new theoretical Model and Literature Review," *ECIS 2015 Completed Research Papers.*
22. Bohme, R., and Nowey, T. (2008), "Economic Security Metrics," *Dependability Metrics,* pp. 176-187.
23. Wade, M., and Hulland, J. (2004), "Review: The Resource-Based View and Information Systems Research: Review, Extension, and Suggestions for Future Research," *MIS Quarterly* (28:1), pp. 107-142.
24. Elsenhardt, K. M., and Martin, J. A. (2000), "Dynamic Capabilities: What are they?," *Strategic Management Journal* (21:1), pp. 1105-1121.
25. Kraaijenbrink, J., Spender, J.-C., and Groen, A. J. (2010), "The Resource-Based View: A Review and Assessment of its Critiques," *Journal of Management* (36:1), pp. 349-372.
26. Schwandt, D., and Marquardt, M. J. (1999), *Organizational learning,* CRC Press.
27. Melville, N., Kraemer, K., and Gurbaxani, V. (2004), "Review: Information Technology and Organizational Performance: An Integrative Model of IT Business Value," *MIS Quarterly* (28:2), pp. 283-322.
28. Kraaijenbrink, J., Spender, J.-C., and Groen, A. J. (2010), "The Resource-Based View: A Review and Assessment of its Critiques," *Journal of Management* (36:1), pp. 349-372.
29. Chandler, A. D. (1977), *The Visible Hand,* Cambridge, MA: Belknap Press.
30. Penrose, E. T. (1959), *The Theory of the Growth of the Firm,* New York: John Wiley & Sons.
31. Stigler, G. J. (1961), "The Economics of Information," *The Journal of Political Economy* (69:3), pp. 213-225.
32. Wernerfelt, B. (1984), "A Resource-Based View of the Firm," *Strategic Management Journal* (5:2), pp. 171- 180.
33. Barney, J. (1991), "Firm Resources and Sustained Competitive Advantage," *Journal of Management* (17:1), pp. 99-120.
34. Barney, J. B. (1994), "Bringing Managers Back in: A Resource-Based Analysis of the Role of Managers in Creating and Sustaining Competitive Advantages for Firms," *Does Management Matter,* pp. 1-36.
35. Barney, J. B. (1997), *Gaining and Sustaining Competitive Advantage,* Addison-Wesley Reading, MA.
36. Cavusoglu, H., Mishra, B., and Raghunathan, S. (2004), "The Effect of Internet Security Breach Announcements on Market

Value: Capital Market Reactions for Breached Firms and Internet Security Developers," *International Journal of Electronic Commerce* (9:1), pp. 70-104.
37. Demirhan, D. (2005), "Factors Affecting Investment in IT: A Critical Review," *Journal of Information Technology Theory and Application (JITTA)* (6:4), pp. 1-13.
38. Jiang, L., Anantharam, V., and Walrand, J. (2008), "Efficiency of Selfish Investments in Network Security," in *Proceedings of the 3rd International Workshop on Economics of Networked Systems,* pp. 31- 36.
39. Torrellas, G. A. S., and Vargas, L. A. V. (2003), "Modelling a Flexible Network Security Systems Using Multi- agents Systems: Security Assessment Considerations," in *Proceedings of the 1st International Symposium on Information and Communication Technologies,* pp. 365-371.
40. Beautement, A., Sasse, M. A., and Wonham, M. (2008), "The Compliance Budget: Managing Security Behaviour in Organisations," in *Proceedings of the 2008 Workshop on New Security Paradigms,* pp. 47-58.
41. Liu, S., and Silverman, M. (2001), "A Practical Guide to Biometric Security Technology," *IT Professional* (3:1), pp.27-32.
42. Neubauer, T., and Heurix, J. (2008), "Defining Secure Business Processes with Respect to Multiple Objectives," in *3rd International Conference on Availability, Reliability and Security (ARES 2008),*pp. 187-194.
43. Wang, X., Zhang, Y., and Shi, H. (2008), "Access Control for Human Tasks in Service Oriented Architecture," in *International Conference on e-Business Engineering (ICEBE),* pp. 455-460.
44. Wattel, B. (2002), "Business Process Security", *Integrity, Internal Control and Security in Information Systems*, pp. 177-186.
45. Dehning, B., and Richardson, V. J. (2002), "Returns on Investments in Information Technology: A Research Synthesis," *Journal of Information Systems* (16:1), pp. 7-30.
46. Davenport, T. (1993), *Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology,* Boston: Harvard Business School Press.
47. Khansa, L., and Liginlal, D. (2009), "Valuing the Flexibility of Investing in Security Process Innovations," *European Journal of Operational Research* (192:1), pp. 216-235.
48. Devaraj, S., and Kohli, R. (2000), "Information Technology Payoff in the Health-care Industry: A Longitudinal Study," *Journal of Management Information Systems* (16:4), pp. 41-67.
49. Barua, A., Kriebel, C. H., and Mukhopadhyay, T. (1995), "Information Technologies and Business Value: An Analytic and Empirical Investigation," *Information Systems Research* (6:1), pp. 3-23.
50. Smith, K. A., Vasudevan, S. P., and Tanniru, M. R. (1996), "Organizational Learning and Resource-Based Theory: An Integrative Model," *Journal of Organizational Change Management* (9:6), pp. 41-53.
51. Hamdan, B. J. (2013), "Evaluating the Performance of Information Security: A Balanced Scorecard Approach," in *SAIS 2013 Proceedings*.
52. Argyris, C. (1976), "Single-Loop and Double-Loop Models in Research on Decision Making," *Administrative Science Quarterly,* pp. 363-375.
53. Culnan, M. J., and Williams, C. C. (2009), "How Ethics Can Enhance Organizational Privacy: Lessons from the ChoicePoint and TJX Data Breaches," *MIS Quarterly,* pp. 673-687.
54. Culnan, M. J., Foxman, E. R., and Ray, A. W. (2008), "Why IT Executives should help Employees Secure their Home Computers," *MIS Quarterly Executive* (7:1), pp. 49-56.
55. Argyris, C., Putnam, R., and Smith, D. M. (1985), "Action Science: Concepts, Methods, and Skills for Research and Intervention,",Jossey-Bass San Francisco, CA.
56. Argote, L. (2011), "Organizational Learning Research: Past, Present and Future," *Management Learning* (42:4), PP. 439-446.
57. Fiol, C. M., and Lyles, M. A. (1985), "Organizational Learning," *Academy of Management Review* (10:4), pp. 803-813.
58. Law on Information Protection in Information and Telecommunication Systems. Verkhovna Rada of Ukraine, №80/94-BP, 05.07.1994.
59. Daneva, M. (2006), "Applying Real Options Thinking to Information Security in Networked Organizations", *Centre for Telematics and Information Technology*, University of Twente.
60. Stephanou, A. (2009), *The Impact of Information Security Awareness Training on Information Security Behaviour.*
61. Romme, G., and Dillen, R. (1997), "Mapping the Landscape of Organizational Learning," *European Management Journal* (15:1), pp. 68-78.
62. Argyris, C. (1983), "Action Science and Intervention," *The Journal of Applied Behavioral Science* (19:2), pp. 115-135.
63. Argyris, C., and Schon, D. A. (1978), *Organizational Learning: A Theory of Action Perspective,* Addison-Wesley Reading, MA, pp. 345-348.
64. Argyris, C. (1977), "Organizational Learning and Management Information Systems," *Accounting, Organizations and Society* (2:2), pp. 113-123.
65. Derrick Huang, C., Hu, Q., and Behara, R. S. (2008), "An Economic Analysis of the Optimal Information Security Investment in the Case of a Risk-averse Firm," *International Journal of Production Economics* (114:2), pp. 793-804.
66. Shen, D., and Jones, B. L. (2005), "A New Implication for China's Rural Education Reform: Organizational Learning Theory," *Journal of International Agricultural and Extension Education* (12:1), pp. 27- 36.
67. Ghose, A., and Rajan, U. (2006), "The Economic Impact of Regulatory Information Disclosure on Information Security Investments, Competition, and Social Welfare.," *Workshop on the Economics of Information Security 2006 (WEIS).*

Received (Надійшла) 21.09.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.10.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Мілов Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна;
Oleksandr Milov – PhD in Technical Sciences, Associated Professor, Associated Professor of Cybersecurity and Information Technologies Department, S. Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: oleksandr.milov@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-6767-7524

Костяк Марина Юріївна – асистент кафедри інформаційної безпеки, Національний університет "Львівська Політехніка", Львів, Україна;
Maryna Kostyak – assistant, Department of Information Security, National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine;
e-mail: kostyak@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6667-7693

Мілевський Станіслав Валерійович – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна;
Stanislav Milevskyi – PhD in Economics, Associated Professor, Associated Professor of Cybersecurity and Information Technologies Department, S. Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: milevskiysv@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-5087-7036

Рзаєв Хазаіл Нураддін Огли – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій і програмування, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Баку, Азербайджан;
Hazail Nuraddin Ogly Rzaev – PhD in Technical Sciences, Associated Professor, Associated Professor of Computer Technologies and Programming Department, Azerbaijan State Oil Academy, Baku, Azerbaijan;
e-mail: xazail49@mail.ru; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-1934-4773

Модель інвестицій в інформаційну безпеку: ресурсне подання та організаційне навчання

О. В. Мілов, М. Ю. Костяк, С. В. Мілевський, Х. Н. Рзаєв

Анотація. Захист інформаційних технологій (IT) є ключовою економічною проблемою для організацій. У той час як дослідження в області інвестицій в IT-безпеку швидко ростуть, у них відсутні теоретичні основи для об'єднання економічних і технологічних явищ і напрямків досліджень. Пропонована теоретична модель заснована на використанні теорії організаційної поведінки і ресурсного уявлення. Спільне застосування цих теорій дозволяє в рамках однієї моделі представити організаційні ефекти навчання, що виникають при розробці захисту організаційних ресурсів за допомогою контрзаходів IT-безпеки. Визначено підходи до вивчення інвестицій в інформаційну безпеку, які зводяться до наступних: мікроекономічні підходи, засновані на теорії ігор, фінансовий аналіз, заснований на прибутковості інвестицій (ROI), чистої приведеної вартості (NPV) і внутрішньої норми прибутку (IRR), і управлінські підходи , засновані на теорії прийняття рішень, управління ризиками та теорії організації. Об'єднання різних теорій і підходів призводить до формування мультитеоретичної моделі, яка дозволяє об'єднати методи зазначених напрямків досліджень в рамках комплексної моделі, засновану на ресурсному поданні та теорії організаційного навчання. Вказані складності розробки теоретичної моделі для інвестицій в інформаційну безпеку, а саме: різноманітність природи контрзаходів, що охоплюють стратегічні та операційні питання з урахуванням правових, технічних і організаційних аспектів; цільове призначення інвестицій в інформаційну безпеку (зниження ризику, а не отримання прибутку); взаємодоповнюваність перспектив оперативного і стратегічного періодів. Представлені різні точки зору на проблеми інвестицій, а саме ресурсне уявлення і уявлення в рамках теорії організаційного навчання. Пропонований підхід дозволив побудувати інтегральну модель інвестицій в інформаційну безпеку. Відповіді на питання, що випливають з аналізу інтегральної моделі інвестицій в інформаційну безпеку можуть не тільки визначати майбутні дослідження, а й мати управлінські наслідки, які допоможуть фірмам приймати обґрунтовані інвестиційні рішення в області інформаційної безпеки.

Ключові слова: інформаційна безпека; інвестиції; ресурсне уявлення; організаційна теорія навчання; інтегральна модель інвестицій.

Модель инвестиций в информационную безопасность: ресурсное представление и организационное обучение

А. В. Милов, М. Ю. Костяк, С. В. Милевский, Х. Н. Рзаев

Аннотация. Защита информационных технологий (ИТ) является ключевой экономической проблемой для организаций. В то время как исследования в области инвестиций в ИТ-безопасность быстро растут, у них отсутствуют теоретические основы для объединения экономических и технологических явлений и направлений исследований. Предлагаемая теоретическая модель основана на использовании теории организационного поведения и ресурсного представления. Совместное применение этих теорий позволяет в рамках одной модели представить организационные эффекты обучения, возникающие при разработке защиты организационных ресурсов с помощью контрмер ИТ-безопасности. Определены подходы к изучению инвестиций в информационную безопасность, которые сводятся к следующим: микроэкономические подходы, основанные на теории игр, финансовый анализ, основанный на доходности инвестиций (ROI), чистой приведенной стоимости (NPV) и внутренней норме прибыли (IRR), и управленческие подходы, основанные на теории принятия решений, управлении рисками и теории организации. Объединение различных теорий и подходов приводит к формированию мульти-теоретической модели, которая позволяет объединить методы указанных направлений исследований в рамках комплексной модели, основанную на ресурсном представлении и теории организационного обучения. Указаны сложности разработки теоретической модели для инвестиций в информационную безопасность, а именно: разнообразие природы контрмер, охватывающих стратегические и операционные вопросы с учетом правовых, технических и организационных аспектов; целевое назначение инвестиций в информационную безопасность (снижение риска, а не получение прибыли); взаимодополняемость перспектив оперативного и стратегического периодов. Представлены различные точки зрения на проблемы инвестиций, а именно ресурсное представление и представление в рамках теории организационного обучения. Предлагаемый подход позволил построить интегральную модель инвестиций в информационную безопасность. Ответы на вопросы, вытекающие из анализа интегральной модели инвестиций в информационную безопасность могут не только определять будущие исследования, но и иметь управленческие последствия, которые помогут фирмам принимать обоснованные инвестиционные решения в области информационной безопасности.

Ключевые слова: информационная безопасность; инвестиции; ресурсное представление; организационная теория обучения; интегральная модель инвестиций.

UDC 004.056 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.15**

I. R. Ragimova[1], F. A. Gubadova[1], B. A. Asker-zade[1], S. S. Pohasii[2]

[1] Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan
[2] Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine

JAVASCRIPT SECURITY USING CRYPTOGRAPHIC HASH FUNCTIONS

Abstract. The subject of this research is the development of methods of protection against attacks on third-party JavaScript and the document object model (DOM). **The purpose of the article** is to develop an algorithm and determine the effectiveness of using cryptographic hash functions as one of the methods of protection against attacks on third-party JavaScript resources. The third-party JavaScript code download chain may consist of three or four third-party websites. From a security point of view, this creates a risk of attack on a third-party resource. If the attacker compromises one of the third-party resources, this will affect the entire chain using this resource. Based on these conditions, it is indispensable to solve the following **tasks**: to develop a secure algorithm for hash functions for protecting applications in JavaScript, which will constantly monitor changes that occur on a web page; determine the advantages and disadvantages of the method in real operating conditions. In the process of the study, the following **results** were obtained: the problems of writing safe code in JS were considered, the algorithm for using cryptographic hash functions was proposed, the essence of which is that the hash is calculated at the first moment of loading a third-party resource. Each time a third-party resource is loaded, the algorithm calculates its hash and compares it with the value of the first hash. It is established that cryptographic hash functions on the example of sha384 have the property of an avalanche effect. It is recommended to use this method for web pages with mission-critical operations, such as payment pages, registration, password reset or account login. Their strengths and weaknesses were also revealed in the process of improving the JavaScript protection method.

Keywords: JavaScript security; cryptographic hash functions; method of protection against attacks; document object model.

Introduction

Recently, considerable efforts have been expended and some successes have been achieved in the process of developing cryptographic methods for analyzing the hash function. In this article, we propose a method of protection against attacks on third-party JavaScript resources using cryptographic hash functions. Hash functions are widely used in cryptography, especially in the construction of digital signature systems and various cryptographic protocols.

The purpose of the article is to develop an algorithm and determine the effectiveness of using cryptographic hash functions as one of the methods of protection against attacks on third-party JavaScript resources.

Cryptographic requirements for key and keyless hash functions arise directly from the conditions of their use in practice. The main requirement for hash functions is the uniform distribution of their values with a random choice of argument values. For cryptographic hash functions, it is also important that with the slightest change in the argument, the value of the function changes strongly (avalanche effect). Despite its simplicity, the algorithm allows timely prevention of the use of compromised third-party resources. However, the method creates additional administrative functions to support the site, as most modern web sites will include hundreds of third-party resources.

Literature review. The OWASP TOP 10 Project document presents a list of the most significant and critical risks of web applications. The decision to include vulnerabilities in this list is based on the expert opinion of cybersecurity experts from around the world.

Implementation of Applications function related to authentication and session management are often incorrectly implemented, allowing attackers to compromise passwords, keys or session tokens, as well as exploit other implementation errors to temporarily or permanently intercept user accounts.

The disadvantages of authentication. Many web applications and APIs have poor protection for critical data. Confidential data requires additional security measures, for example, their encryption during storage or transmission, as well as special precautions when working with the browser.

XML External Entities (XXE). Older or poorly configured XML processors process references to external entities within documents. These entities can be used to access internal files through file URIs, shared folders, port scans, remote code execution, and denial of service.

Disadvantages of access control. The actions allowed by authenticated users are often incorrectly controlled. Attackers can take advantage of these shortcomings and gain unauthorized access to other users' accounts or confidential information, as well as change user data or access rights.

Incorrect security settings occur due to the use of standard security settings, incomplete or specific settings, open cloud storage, incorrect HTTP headers and detailed error messages containing critical data.

Cross-site scripting (XSS) occurs when an application adds unverified data to a new web page without checking or converting it, or when it refreshes an open page through a browser API using user-provided data that contains HTML or JavaScript code. Using XSS, attackers can execute scripts in the victim's browser, allowing them to intercept user sessions, swap site pages, or redirect users to malicious sites.

Insecure deserialization often leads to remote code execution. Deserialization errors that do not lead to remote code execution can be used for attacks with replay, injection, and privilege escalation [7].

Formulation of the problem. To ensure the safety of JavaScript, it is not easy to track what is happening when running scripts on JS, but, armed with suitable tools, you can find and rewrite problem areas even in the most confusing code.

JavaScript does not stand still: new and new features appear in it, it is often used to write applications (both mobile and desktop), and is also increasingly found on servers (and not only) thanks to Node.js. And this means that the art of catching bugs must be taken to a new level.

Statement of the main material

Developing secure JavaScript applications is a tricky task due to JavaScript features, due to the following problems of the complexity of writing safe JS code.

1. **The compiler will not help** since JavaScript is an interpreted language. It will not be refusing to work and pushing you to correct errors and optimize the code.

2. **The dynamic essence of JavaScript.** JavaScript is dynamic, weakly typed, and asynchronous, which confirms that security problems are inevitable.

3. **Intricate features of JS.** JavaScript has prototypes, first class functions, and closures. They make the language even more dynamic, and writing safe code is more difficult.

4. **Close interaction between JavaScript and the document object model (DOM).** Thanks to the DOM, web pages loaded into the browser can be updated in stages during the loading of data from the server. However, this convenience also has a flip side: the code fragments that are responsible for the dynamic interaction between the JS and the DOM are especially error prone.

5. Complex event interactions. JavaScript is an event-driven language. Most events are triggered by user actions. There are those that can be triggered without it, for example, time events and asynchronous calls. Each event can be echoed throughout the DOM tree and activate several "listeners" at once. Sometimes tracking all of this is a rather non-standard task.

Problem: A web page consists of many different third-party JavaScript scripts.

The following is an example HTML page with embedded JavaScript code on external resources (see Fig. 1).

```
<html>
<head >
<title>My Site</title>
<script type="text/JavaScript"
src="//se.monetate.net/js/2/a-ec87f2d7entry.js">-
</script>
<script
src="//nexus.ensighten.com/Bootstrap.js"></script>
</head>
<body>
My test website
</body>
</html>
```

Fig. 1. Algorithm 1

As can be seen, in addition to standard HTML attributes such as head, body, the Script attribute is also present. This attribute allows to load third-party code into an HTML page.

In this example, two third-party JavaScript codes are loaded into the page.

As can be seen from the example, the third-party code itself is missing, and instead links to external resources are indicated. The original code is downloaded directly from a third-party resource.

Modern web applications use hundreds of links to third-party JavaScript code.

The Fig. 2 shows a graph that displays the number of third-party JavaScript resources using a popular website as an example.

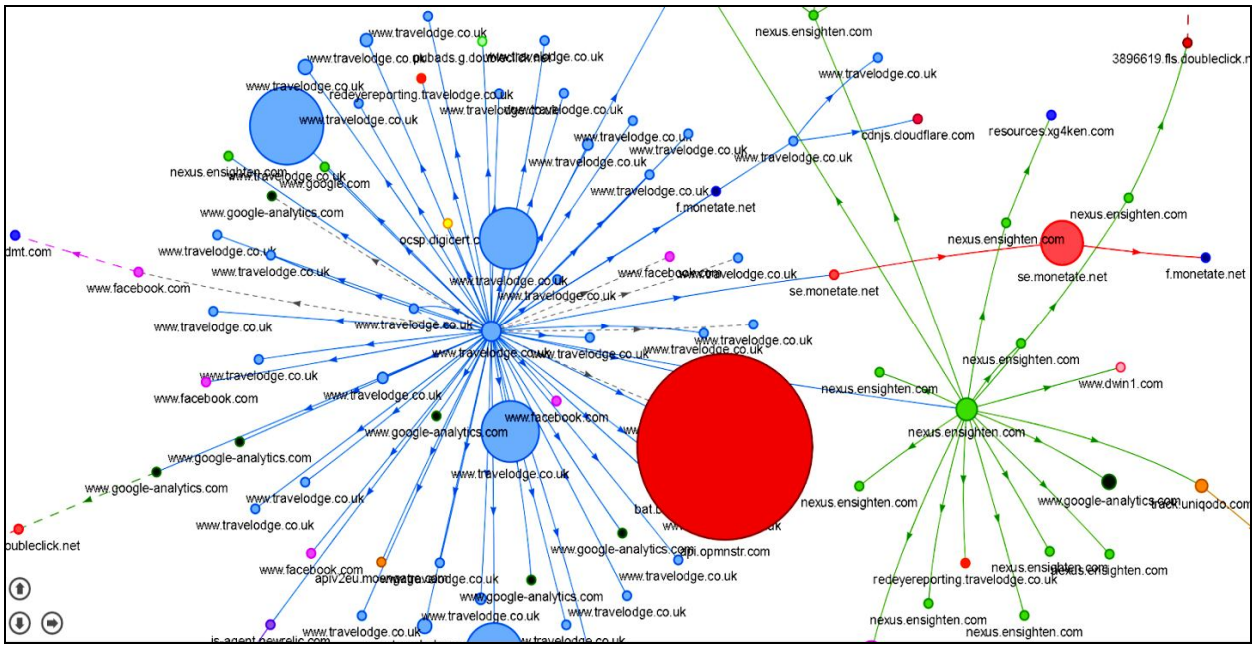


Fig. 2. The hash is calculated at the first moment of loading a third-party resource

The central vertex of the graph represents the main website, and the vertices coming from it represent third-party JavaScript resources.

As can be seen, the third-party JavaScript code loading chain can consist of three or four third-party websites. From a security point of view, this creates a risk of attack on a third-party resource. If the attacker compromises one of the third-party resources, this will affect the entire chain using this resource.

Below is an example of an html page where, along with a link to a third-party JavaScript resource, the corresponding hash is also shown (see Fig. 3).

The number of third-party JavaScript resources

Each time a third-party resource is loaded, the algorithm calculates its hash and compares it with the value of the first hash.

At the slightest change in the external resource, the algorithm will calculate a new hash and detect the difference with the value of the first hash.

Cryptographic hash functions have the property of an avalanche effect. That is, a change in one bit of data will affect a complete change in the hash function. This mismatch will cause a failure to load a third-party resource.

```
<script src="https://example.com/example-framework.js"
integrity="sha384-Li9vy3DqF8tn TXuiaAJuML3ky+er1 0rcgNR/VqsV pcw+ThHm Ycwi B1pbOxEbzJr7"
crossorigin="anonymous"></script>
```

The following is an example of an avalanche effect with a hash function sha384

```
sha384(test)=
=
768412320f7b0aa5812fce428dc4706b3cae50e02a64caa16a782249bfe8efc4b7ef1ccb126255d196047dfedf17a0a9
sha384(Test)=
7B8F4654076B80EB963911F19CFAD1AAF4285ED48E826F6CDE1B01A79AA73FADB5446E667FC4F90417782C91270540F3
```

Fig. 3. Example of an html page

In the above example, we use the integrity attribute, which contains the hash value itself.

In this example, this is a hash function sha384.

Program algorithm

1. Insert a link to a third-party resource in the page.
2. Follow the external link.
3. Calculate the hash of a third-party resource.
4. Check if the hash value corresponding to this third-party resource is identical.
5. If no, value is missing, then place the calculated value into the database.
6. If the value exists, but not identical to the value just calculated, then refuse to load a third-party resource.
7. Display loading error information in the browser console.

Strengths and weaknesses of this approach

Weaknesses: This method is reactive, i.e. leaves little time for site administrators to make decisions in case of legitimate changes in third-party code.

The method will create a lot of false positives on dynamic pages, since the content in them is changes frequently.

Strengths: This method is suitable for web pages with critical operations, such as payment pages, registration, password reset or account login. Pages with these types of operations are of most interest to the attacker.

Conclusions

The use of this method will constantly monitor changes occurring on the web page. If one bit changes on any of the resources, the program will detect and warn about an attempt to change the state of the system.

Thus, the timely detection of unauthorized changes and leaving the download of a compromised third-party resource will adequately respond and classify an external threat.

REFERENCES

1. Haverbeke, Marijn (2018), *Eloquent JavaScript, 3rd Edition: A Modern Introduction to Programming Paperback*, Dec.4, 2018, available at: http://eloquentjavascript.net.
2. Kingsley-Hughes, Adrian and Kingsley-Hughes, Kathie (2008), *JavaScript 1.5 by Example 1st Edition Que Publishing*, 1 edition, 312 p.
3. Grimes R.A. (2017), *Hacking the Hacker: Learn From the Experts Who Take Down Hackers*, Hoboken: Wiley, 283 p.
4. Yaworski, P. (2015), *Web Hacking 101. Kindle Edition*, 216 p.
5. Bisson, D. (2017), *Researcher warns of 'pastejacking' hack attacks targeting users' clipboards*, available at: https://www.grahamcluley.com
6. Zaitsev, M. (2017), *Security of Java applications leaves much to be desired*, available at: https://threatpost.ru/veracode-states-that-java-apps-are-poorly-protected/22946
7. *TOP-10 OWASP – 2017* (2017), available at: https://www.owasp.org/images/9/96/OWASP_Top_10-2017-ru.pdf

Received (Надійшла) 11.10.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Рагімова Ірада – доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан;
Irada Rahimova – Associated Professor of Computer Systems and Networks Department, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan;
e-mail: ika1402@mail.ru; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3158-6844

Губадова Фірангиз – доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан;
Firangiz Qubadova – Associated Professor of Computer Systems and Networks Department, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan;
e-mail: fira1942@hotmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000- 0002-5031-9787

Аскер-заде Бараят – доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, Азербайджанський технічний університет, Баку, Азербайджан;
Barayat Asker zade – Associated Professor of Computer Systems and Networks Department, Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan;
e-mail: askerzade@mail.ru; ORCID ID: http://orcid.org/0000- 0001-7630-5028

Погасій Сергій – кандидат економічних наук, доцент кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет ім. Семена Кузнеця, Харків, Україна;
Serhii Pohasii – PhD in Economics, Associated Professor of Cybersecurity and Information Technologies Department, S. Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine;
e-mail: spogasiy1978@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-4540-3693

Використання криптографічних хеш-функцій для безпеки JavaScript

І. Рагімова, Ф. Губадова, Б. Аскер-заде, С. Погасій

Анотація. Предметом дослідження є процес розробки методів захисту від атак на сторонні JavaScript і об'єктної моделі документа. **Метою статті** є розробка алгоритму і визначення ефективності використання криптографічних хеш-функцій як одного із способів захисту від атак на сторонні JavaScript ресурси. Ланцюжок завантаження стороннього JavaScript коду може складаючись із трьох або чотирьох сторонніх веб-сайтів. З точки зору безпеки це створює ризик атаки на сторонній ресурс. Якщо атакуюча сторона скомпрометує один з сторонніх ресурсів, то це вплине на весь ланцюжок, що використовує даний ресурс. Виходячи з даних умов необхідно вирішити такі завдання: розробити безпечний алгоритм хеш-функцій захисту застосунків на JavaScript, який дозволить постійно моніторити зміни, що відбуваються на веб-сторінці; визначити переваги і недоліки методу в реальних умовах експлуатації. У процесі дослідження, були отримані наступні **результати:** розглянута проблематика складності написання безпечного коду на JavaScript, запропонований алгоритм використання криптографічних хеш-функцій, суть якого полягає в тому, що хеш обчислюється в перший момент завантаження стороннього ресурсу. При кожному завантаженні стороннього ресурсу алгоритм обчислює його хеш і порівнює зі значенням першого хеша. Встановлено, що криптографічні хеш-функції на прикладі sha384 мають властивість лавинного ефекту. Рекомендовано застосування даного методу для веб-сторінок з критично важливими операціями, такими як сторінки платежу, реєстрація, зміна пароля або вхід у обліковий запис. Також виявлено їх сильні і слабкі сторони в процесі удосконалення методу захисту JavaScript.

Ключові слова: безпека JavaScript; криптографічні хеш-функції; метод захисту від атак; об'єктна модель документа.

Використання криптографічних хеш-функцій для безпеки JavaScript

И. Рагимова, Ф. Губадова, Б. Аскер-заде, С. Погасий

Аннотация. Предметом исследования является процесс разработки методов защиты от атак на сторонние JavaScript и объектную модель документа. **Целью** статьи является разработка алгоритма и определение эффективности использования криптографических хеш-функций как одного из методов защиты от атак на сторонние JavaScript ресурсы. Цепочка загрузки стороннего JavaScript кода может состоять из трех или четырех сторонних веб-сайтов. С точки зрения безопасности это создает риск атаки на сторонний ресурс. Если атакующая сторона скомпрометирует один из сторонних ресурсов, то это повлияет на всю цепочку, использующую данный ресурс. Исходя из данных условий необходимо решить следующие з**адачи**: разработать безопасный алгоритм хеш-функций защиты приложений на JavaScript, который позволит постоянно мониторить изменения, происходящие на веб-странице; определить достоинства и недостатки метода в реальных условиях эксплуатации. В процессе исследования были получены следующие **результаты**: рассмотрена проблематика сложности написания безопасного кода на JavaScript, предложен алгоритм использования криптографических хеш-функций, суть которого заключается в том, что хеш вычисляется в первый момент загрузки стороннего ресурса. При каждой загрузке стороннего ресурса алгоритм вычисляет его хеш и сравнивает со значением первого хеша. Установлено, что криптографические хеш-функции на примере sha384 обладают свойством лавинного эффекта. Рекомендовано применение данного метода для веб-страниц с критически важными операциями, такими как страницы платежа, регистрация, смена пароля или вход в учетную запись. Также выявлены их сильные и слабые стороны в процессе усовершенствования метода защиты JavaScript.

Ключевые слова: безопасность JavaScript; криптографические хеш-функции; метод защиты от атак; объектная модель документа.

UDC 681.3.06 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.16**

V. Rudnitsky[1], R. Berdibayev[2], R. Breus[1], N. Lada[1], M. Pustovit[3]

[1] Cherkasy State Tehnological University, Cherkasy, Ukraine
[2] Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan
[3] Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkasy, Ukraine

SYNTHESIS OF REVERSE TWO-BIT DUAL-OPERATED STRICTLY STRAIGHT CRYPTOGRAPHIC CODING ON THE BASIS OF ANOTHER OPERATION

Abstract. Based on the analysis of a group of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding, the relations between direct and inverse operations are established and formalized and their correctness is proved. Applying the technology of combining single-operand strict rigorous cryptographic coding into two-operand operations and using established interconnections, we propose a method of synthesis of inverse operations for known direct operations. This method provides the construction of the inverse operation by converting the second operand of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding. The article examines the entire sequence of mathematical transformations that provides the synthesis of a formalized operation model, suitable for practical application in crypto primitives, by constructing models of the relationships between operations and the synthesis of a reverse operation model. The synthesized operations are implemented both at the software and hardware levels and provide the ease of achieving the effect of strictly stable cryptographic coding.

Keywords: cryptographic coding; decoding; inverse operations; cryptocurrencies; permutations; encryption reliability; strict stable cryptographic coding; operation synthesis; second operand.

Introduction

Formulation of the problem. Nowadays, information security has become one of the most important areas for the successful development of any society. Information resources, as cybercrime is on the rise, require the development of new and ongoing improvements to existing remedies [1]. First of all, it concerns cryptographic protection of information. Recent trends in the development of cryptology, among many promising trends, are the synthesis of new cryptocurrency operations [2].

It is worth saying that the ways of building new cryptocurrency operations for streaming and block encryption remain poorly studied.

For example, maximizing the uncertainty of encryption results can be obtained through crypto conversion operations that meet the criteria of strict, stable cryptographic encoding [3].

Analysis of recent research and publications. For the first time, the criterion of strict stable coding for evaluating the quality of elementary functions and operations from which the cryptocurrency algorithms are built is proposed in work [4].

Works [5, 6] are devoted to the construction of single-operand strict stable coding operations. However, the main disadvantage of these operations is the limited range of tasks where they can be applied, compared to two-operand operations [7].

Works [8, 9] are devoted to one of the approaches of constructing new two-operand permutation operations. This approach provided the construction of operations suitable for practical application.

In works [10, 11] the construction of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding and inverse operations was carried out.

The combination of inverse transformation with direct implementation of the method of increasing the stability and reliability of streaming encryption provides a fairly high uncertainty of the results of cryptocurrencies, regardless of the quality of the sequencing sequences. However, the widespread use of the obtained two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding is limited by the complexity of constructing the model of inverted transformation and the practical implementation of the cryptosystem as a whole.

The purpose of the work is to establish relationships and to develop a method of synthesis of inverted two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding on the basis of conversion of the second operand for use in stream and block ciphers.

Basic material

The group of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic encoding includes 24 operations of cryptocurrency, which are given in table 1 [10].

These operations are grouped in Table 1 so that the operation in the first column corresponds to the operation inverted from the second column and vice versa, the operation from the second column corresponds to the operation inverted from the first column, that is, each row presents two inverse operations.

To achieve this, we will try to find relationships between direct and inverse cryptocurrency operations. Let it be a direct operation O_1^k , and then it will be O_2^k an inverse operation.

To find a relationship, we present a direct and inverted crypto conversion operation in the expanded view [11], which shows the relationship between single-operand cryptocurrencies of the first operand, depending on the value of the second operand.

Table 1 – **Group of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding**

Cryptocurrency Operation	Cryptocurrency Operation	Cryptocurrency Operation
$O_1^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1 \\ x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2\\ \bar{k}_2\end{bmatrix}$	$O_2^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1 \\ x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\oplus k_2\\ \overline{k_1\oplus k_2}\end{bmatrix}$	$O_3^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2) \\ x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\\ \bar{k}_1\end{bmatrix}$
$O_4^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\\ \bar{k}_1\end{bmatrix}$	$O_5^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\oplus k_2\\ \overline{k_1\oplus k_2}\end{bmatrix}$	$O_6^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2) \\ x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2\\ \bar{k}_2\end{bmatrix}$
$O_7^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1 \\ x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \overline{k_1\oplus k_2}\\ k_1\oplus k_2\end{bmatrix}$	$O_8^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1 \\ x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_2\\ k_2\end{bmatrix}$	$O_9^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2) \\ x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_2\\ k_2\end{bmatrix}$
$O_{10}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_2\\ k_2\end{bmatrix}$	$O_{11}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_1\\ k_1\end{bmatrix}$	$O_{12}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2) \\ x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_1\\ k_1\end{bmatrix}$
$O_{13}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2}) \\ x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2)\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2\\ \bar{k}_2\end{bmatrix}$	$O_{14}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2 \\ x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2\\ \bar{k}_2\end{bmatrix}$	$O_{15}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2 \\ x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\\ \bar{k}_1\end{bmatrix}$
$O_{16}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2}) \\ x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2)\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\\ \bar{k}_1\end{bmatrix}$	$O_{17}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1 \\ x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\oplus k_2\\ \overline{k_1\oplus k_2}\end{bmatrix}$	$O_{18}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1 \\ x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2\\ \bar{k}_2\end{bmatrix}$
$O_{19}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\\ \bar{k}_1\end{bmatrix}$	$O_{20}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2}) \\ x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2)\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_1\\ k_1\end{bmatrix}$	$O_{21}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1 \\ x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \overline{k_1\oplus k_2}\\ k_1\oplus k_2\end{bmatrix}$
$O_{22}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1 \\ x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_2\\ k_2\end{bmatrix}$	$O_{23}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2}) \\ x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2)\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \bar{k}_2\\ k_2\end{bmatrix}$	$O_{24}^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2 \\ x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} \overline{k_1\oplus k_2}\\ k_1\oplus k_2\end{bmatrix}$

$$\text{So}: \quad O_1^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1 \\ x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2\\ \bar{k}_2\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{cases}\begin{bmatrix} x_1\\ x_2\oplus 1\end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=0; \qquad \begin{bmatrix} x_1\oplus 1\\ x_2\end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=1;\\ \begin{bmatrix} x_2\\ x_1\oplus 1\end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=0; \qquad \begin{bmatrix} x_2\oplus 1\\ x_1\end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=1;\end{cases}$$

$$O_2^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_1\oplus x_2\cdot k_1 \\ x_1\cdot k_1\oplus x_2\cdot\bar{k}_1\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\oplus k_2\\ \overline{k_1\oplus k_2}\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{cases}\begin{bmatrix} x_1\\ x_2\oplus 1\end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=0; \qquad \begin{bmatrix} x_1\oplus 1\\ x_2\end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=1;\\ \begin{bmatrix} x_2\oplus 1\\ x_1\end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=0; \qquad \begin{bmatrix} x_2\\ x_1\oplus 1\end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=1,\end{cases}$$

where x – is the value of the first operand, and k – the value of the second operand.

Operations O_1^k and O_2^k differ in order of placement of a single-operand operation of the first operand. The order of placement of a single-operand processing operation of the first operand is determined by the value of the second operand (condition of execution). Therefore, in order to construct a reverse operation, it is sufficient to change the conditions of its execution in a direct operation. You can establish relationships between operations based on the model of converting the value of the second operand of the direct operation into the value of the second operand of the inverse operation.

With this in mind, let's establish a relationship between the values of the second operands based on the construction of a discrete transformation model. To do this, we use the value of the second operand of the direct operation as input, and as the output of the value of the second operand of the inverse operation as a result of the implementation of the model of discrete transformation. To minimize the discrete automaton, we construct a truth table. It is Table 2.

Table 2 – **The truth table of the discrete automatic transformer O_1^k in O_2^k**

The second operand of the direct operation		The second operand of the inverse operation	
k_1	k_2	k_1^*	k_2^*
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	1

Minimizing this truth table, we obtain a discrete model of the automaton for constructing the second operand of the inverse operation:

$$k_1^*=k_1,\ \ k_2^*=k_1\oplus k_2.$$

This model makes it possible to construct a reverse operation O_2^k on the basis of a direct operation O_1^k .By analogy, we examine the relationship between operations O_3^k and O_6^k .

Let's take a direct operation O_3^k , then the operation O_6^k will be reversed. In the expanded view, the operations O_3^k and O_6^k will look like this:

$$O_3^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2) \\ x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\\ \bar{k}_1\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{cases}\begin{bmatrix} x_1\\ x_2\oplus 1\end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=0; \qquad \begin{bmatrix} x_2\\ x_1\oplus 1\end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=1;\\ \begin{bmatrix} x_2\oplus 1\\ x_1\end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=0; \qquad \begin{bmatrix} x_1\oplus 1\\ x_2\end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=1;\end{cases}$$

$$O_6^{\kappa}=\begin{bmatrix} x_1\cdot(\overline{k_1\oplus k_2})\oplus x_2\cdot(k_1\oplus k_2) \\ x_1\cdot(k_1\oplus k_2)\oplus x_2\cdot(\overline{k_1\oplus k_2}) \end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}=$$

$$=\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2\oplus 1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=0; \\ & k_2=0; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1\oplus 1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=1; \\ & k_2=0; \end{cases} \quad \begin{cases} \begin{bmatrix} x_2\oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=0; \\ & k_2=1; \\ \begin{bmatrix} x_1\oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & if\ k_1=1; \\ & k_2=1; \end{cases}$$

where x – is the value of the first operand, k – is the value of the second operand.

The difference between these operations is the location of a single-operand operation of the first operand, which is determined by the value of the second operand, that is, its condition of execution.

According to the above mentioned, in order to construct a reverse operation, it is sufficient to change the conditions of its execution in a direct operation, that is, the relationships between operations can be established on the basis of the model of converting the value of the second operand of the direct operation into the value of the second operand of the reverse operation.

We establish the relationship between the values of the second operands by constructing a discrete transformation model by using the value of the second operand of the direct operation as input, and the value of the second operand of the inverse operation as the result of the implementation of the model of discrete transformation.

Let's construct the truth table of the discrete model of the automaton for O_3^k and O_6^k (Table 3):

Table 3 – **The truth table of the discrete automatic transformer O_3^k and O_6^k**

The second operand of the direct operation		The second operand of the inverse operation	
k_1	k_2	k_1^*	k_2^*
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	1	1

By minimizing this truth table, we obtain a discrete model of the automaton for constructing the second operand of the inverse operation:

$$k_1^*=k_2,\quad k_2^*=k_1.$$

The machine model for constructing the second operand of the inverse operation makes it possible to construct the inverse operation O_6^k on the basis of a direct operation O_3^k.

As stated earlier, let's examine the relationship between operations O_4^k and O_5^k.

In this case, O_4^k is a direct operation, and the operation O_5^k will be reversed. In the expanded view the operations O_4^k O_5^k and have the following form:

$$O_4^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2 \end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}=\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2\oplus 1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=0 \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1\oplus 1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=0;\ k_2=1 \\ \begin{bmatrix} x_1\oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=0 \\ \begin{bmatrix} x_2\oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=1;\ k_2=1 \end{cases},$$

$$O_5^k=\begin{bmatrix} x_1\cdot\bar{k}_2\oplus x_2\cdot k_2 \\ x_1\cdot k_2\oplus x_2\cdot\bar{k}_2 \end{bmatrix}\oplus\begin{bmatrix} k_1\oplus k_2 \\ \overline{k_1\oplus k_2} \end{bmatrix}=\begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2\oplus 1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=0; \\ & k_2=0; \\ \begin{bmatrix} x_2\oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=0; \\ & k_2=1; \\ \begin{bmatrix} x_1\oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, & if\ k_1=1; \\ & k_2=0; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1\oplus 1 \end{bmatrix}, & if\ k_1=1; \\ & k_2=1, \end{cases}$$

where x – is the value of the first operand, k – is the value of the second operand.

Similar to the previous operations, let us examine the relationships between operations O_4^k and O_5^k and construct a truth table for the discrete model of the automaton for O_4^k and O_5^k (Table 4):

Table 4 – **The truth table of the discrete automatic transformer O_4^k and O_5^k**

The second operand of the direct operation		The second operand of the inverse operation	
k_1	k_2	k_1^*	k_2^*
0	0	1	0
0	1	0	1
1	0	0	0
1	1	1	1

By minimizing this truth table, we obtain a discrete model of the automaton for constructing the second operand of the inverse operation:

$$k_1^*=\overline{k_1\oplus k_2},\ k_2^*=k_2.$$

The discrete model makes it possible to construct a reverse operation O_5^k based on a direct operation O_4^k.

By analogy, the relationships between all the two-bit two-operand operations of the rigorous robust cryptographic encryption operations investigated were found. Formalized relationships between direct and inverse operations allow us to construct a method of synthesizing inverted two-bit two-operand operations of rigorously stable cryptographic coding on the basis of second operand transformation.

A synthesis of the inverse operation is considered in work [11] taking into account the possibility of using the same gamma sequences in the direct and inverse channels of encryption. The inverse operation of strictly stable cryptographic coding, as well as the direct operation, are simply implemented at both hardware and

software levels. Since the synthesis of direct and inverse operations revealed that there is a recurrence of operations, there is a need to use the second operand transform to improve the quality of cryptographic coding. The obtained interconnections created the theoretical basis for the construction of a method of synthesis of inverted two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding on the basis of the second operand transformation.

Let us formalize and prove the correctness of the application of detected interconnections for the construction of inverted two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding by transformation of the second operand. If

$$O_1^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$$

is an encoding operation, and

$$O_1^d = O_2^\kappa = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \overline{k_1 \oplus k_2} \end{bmatrix}$$

is a decoding operation, then O_1^k can be applied as O_1^d, provided $k_1^* = k_1$, $k_2^* = k_1 \oplus k_2$. Because these operations are specified by models:

$$O_1^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 0;\ k_2 = 0; & \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 0;\ k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 1;\ k_2 = 0; & \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 1;\ k_2 = 1. \end{cases}$$

$$O_1^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 0;\ k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 0;\ k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 1;\ k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 1;\ k_2 = 1. \end{cases}$$

Thus, using the transformation of the second operand, we obtain:

$$O_1^{k*} =$$

$$= \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, if\ k_1^* = 0;\ k_2^* = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, if\ k_1^* = 0;\ k_2^* = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1^* = 1;\ k_2^* = 0; \\ \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, if\ k_1^* = 1;\ k_2^* = 1; \end{cases} = \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 0;\ k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 0;\ k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 1;\ k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, if\ k_1 = 1;\ k_2 = 0; \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 0; \\ \ k_2 = 0; \\ \begin{bmatrix} x_2 \oplus 1 \\ x_1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 1 \\ \ k_2 = 0; \end{cases} \quad \begin{cases} \begin{bmatrix} x_1 \oplus 1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 0; \\ \ k_2 = 1; \\ \begin{bmatrix} x_2 \\ x_1 \oplus 1 \end{bmatrix}, \ if\ k_1 = 1; \\ \ k_2 = 1; \end{cases} = O_1^d,$$

which was to prove.

By analogy, inverse operations were built for the whole group of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding.

The results of this study are shown in Table 5.

Table 5 – **Results of synthesis of operations based on established relationships**

Direct cryptocurrency operation	**Inverted cryptocurrency operation**	**Model of the machine of construction of the second operand of the inverse operation**
1	**2**	**3**
$O_3^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$O_6^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$k_1^* = k_2,\ k_2^* = k_1$
$O_{12}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_1 \\ k_1 \end{bmatrix}$	$O_9^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \\ x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	
$O_{16}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \\ x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$O_{23}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \\ x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$k_1^* = \bar{k}_2$ $k_2^* = \bar{k}_1$
$O_{20}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \\ x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_1 \\ k_1 \end{bmatrix}$	$O_{13}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot (k_1 \oplus k_2) \oplus x_2 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \\ x_1 \cdot (\overline{k_1 \oplus k_2}) \oplus x_2 \cdot (k_1 \oplus k_2) \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	
$O_1^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$O_2^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \overline{k_1 \oplus k_2} \end{bmatrix}$	$k_1^* = k_1$ $k_2^* = k_1 \oplus k_2$
$O_8^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$O_7^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \\ x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \overline{k_1 \oplus k_2} \\ k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	

End of table 5

1	2	3
$O_{18}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$O_{21}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \overline{k_1 \oplus k_2} \\ k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	$k_1^* = k_1$ $k_2^* = \overline{k_1 \oplus k_2}$
$O_{22}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$O_{17}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_1 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_1 \\ x_1 \cdot \bar{k}_1 \oplus x_2 \cdot k_1 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \overline{k_1 \oplus k_2} \end{bmatrix}$	
$O_4^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$O_5^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \oplus k_2 \\ \overline{k_1 \oplus k_2} \end{bmatrix}$	$k_1^* = \overline{k_1 \oplus k_2}$ $k_2^* = k_2$
$O_{15}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$O_{24}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \overline{k_1 \oplus k_2} \\ k_1 \oplus k_2 \end{bmatrix}$	
$O_{14}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \\ x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_2 \\ \bar{k}_2 \end{bmatrix}$	$O_{19}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} k_1 \\ \bar{k}_1 \end{bmatrix}$	$k_1^* = k_1 \oplus k_2$ $k_2^* = k_2$
$O_{10}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_2 \\ k_2 \end{bmatrix}$	$O_{11}^k = \begin{bmatrix} x_1 \cdot \bar{k}_2 \oplus x_2 \cdot k_2 \\ x_1 \cdot k_2 \oplus x_2 \cdot \bar{k}_2 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} \bar{k}_1 \\ k_1 \end{bmatrix}$	

This table identifies defined subgroups of transactions that have the same interconnections, which simplifies cryptographic information security algorithms.

The above sequence of establishing relationships and mathematical transformations can be considered as a developed method of synthesis of inverted two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding on the basis of transformation of the second operand. The use of inverted two-bit two-operand operation of strict stable cryptographic coding on the basis of transformation of the second operand in the method of increase of stability and reliability of stream encryption will provide creation of new qualitative opportunities for developers of stream ciphers.

Conclusions

Thus, in the course of the study, the relationships between all two-bit two-operand operations of the group of operations of strict stable cryptographic coding were established. The relationship between direct and reverse operations was applied to the construction of reverse operations. The method of synthesis of inverted two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding on the basis of transformation of the second operand is developed.

Operations subgroups and their interconnections are identified, which simplifies the construction of cryptographic security algorithms by reducing both software and hardware complexity.

REFERENCES

1. Babenko, V.G., Melnyk, R.P. and Gonchar, S.V. (2014), "Evaluation of the efficiency of using cryptographic transformation operations", *Bulletin of the Academy of Engineering of Ukraine*, Vol. 2, pp. 39–41.
2. Golub, S.V., Babenko, V.G., Rudnitsky, S.V. and Melnyk R.P. (2012), "Improvement of the method of synthesis of operations of cryptographic transformation on the basis of discrete-algebraic representation of operations", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, No. 2 (22), pp. 163–168.
3. Babenko, V.G., Mironets, I.V. and Rudnitsky, S.V. (2011), "Decoding of information in a group of two-bit operations of cryptographic transformation", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, Vol. 4 (20), pp. 208–212.
4. Rudnitsky, V.M., Shuvalova, L.A. and Nesterenko, O.B. (2017), "Analysis of two-bit operations of a cryptographic coding on the criterion of a strict avalanche effect", *Scientific works: Scientific and Methodological Journal*, pp. 74–77.
5. Nesterenko, O.B., Rudnitsky, V.M. and Shuvalova, L.A. (2017), "Synthesis of cryptographic transformation operations according to the criterion of strict stable coding", *Bulletin of the Academy of Engineering of Ukraine*, Vol. 3, pp. 105–108.
6. Rudnitsky, V.M., Shuvalova, L.A. and Nesterenko, O.B. (2017), "Method of synthesis of operations of cryptographic transformation by criterion of strict stable coding", *Cherkasy State Technological University Bulletin*, Vol. 1, pp. 5–10.
7. Lada, N.V. and Kozlovskaya, S.G. (2018), "Application of operations of cryptographic addition module two with precision to permutation in streaming ciphers", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, Vol. 1 (47), pp. 127–130, DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.1.127
8. Babenko, V.G. and Lada, N.V. (2018), "Synthesis and analysis of cryptographic addition operations module two", *Information processing systems*, KhNUPS, Kharkiv, Vol. 2 (118), pp. 116–118.
9. Rudnitsky, V.M., Lada, N.V., Fedotova-Piven, I.M. and Pustovit, M.O. (2018), "Synthesis of inverted two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding", *Information processing systems and methods*, State Scientific Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Kyiv, Vol.4 (55), pp. 76–81.
10. Rudnitsky, V.M., Opirsky, I.M., Melnyk, O.G. and Pustovit M.A. (2018), "Synthesis of a group of strict stable cryptographic coding operations for constructing streaming ciphers", *Information security*, Vol. 24, No. 3.
11. Rudnitsky, V.M., Lada, N.V., Fedotova-Piven, I.M., Pustovit, M.O. and Nesterenko, O.B. (2018), "Construction of two-bit two-operand operations of strict stable cryptographic coding", *Control, navigation and communication systems*, PNTU, Poltava, Vol. 6 (52), pp. 113–115, DOI: https://doi.org/10.26906/SUNZ.2018.6.113

Надійшла (received) 22.09.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Рудницький Володимир Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна;
Volodymir Rudnitsky – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Information Security and Computer Engineering, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine;
e-mail: rvn_2008@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-3473-7433

Бердибаєв Рат Шиндалійович – кандидат політичних наук, доцент, завідувач кафедри систем інформаційної безпеки, Алматинський університет енергетики та зв'язку, Алмати, Казахстан;
Rat Berdibayev – Candidate of Political Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Information Security Systems, Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan;
e-mail: r.berdybaev@aues.kz; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-8341-9645

Бреус Роксолана Василівна – асистент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна;
Roksolana Breus – Assistant of the Department of Information Security and Computer Engineering, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine;
e-mail: skay1986@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-6281-2017

Лада Наталія Володимирівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна;
Nataliia Lada – Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Information Security and Computer Engineering, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine;
e-mail: ladanatali256@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-7682-2970

Пустовіт Михайло Олександрович – старший викладач кафедри техніки та засобів цивільного захисту, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, Черкаси, Україна;
Mykhailo Pustovit – Senior Instructor of Department, Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes, Cherkasy, Ukraine;
e-mail: m.pustovit@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-5313-1459

Синтез обернених двохрозрядних двохоперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування на основі перетворення другого операнда

В. М. Рудницький, Р. Ш. Бердибаєв, Р. В. Бреус, Н. В. Лада, М. О. Пустовіт

Анотація. На основі аналізу групи двохрозрядних двохоперандних операцій строгого стійкого криптографічного кодування встановлено і формалізовано взаємозв'язки між прямими і оберненими операціями та доведено їх коректність. Застосувавши технологію поєднання одноопераднних операцій строгого стійкого криптографічного кодування в двохоперандні операції і використавши встановлені взаємозв'язки, запропоновано метод синтезу обернених операцій для відомих прямих операцій. Даний метод забезпечує побудову оберненої операції шляхом перетворення другого операнда двохрозрядної двохоперандної операцій строгого стійкого криптографічного кодування. У статті на прикладах побудови моделей взаємозв'язків між операціями та синтезом моделі оберненої операції розглядається вся послідовність математичних перетворень, яка забезпечує синтез формалізованої моделі операції, придатної для практичного застосування в криптопримітивах. Синтезовані операції реалізуються як на програмному, так і на апаратному рівнях, та забезпечують простоту досягнення ефекту строгого стійкого криптографічного кодування.

Ключові слова: криптографічне кодування; декодування; обернені операції; криптоперетворення; перестановки; надійність шифрування; строге стійке криптографічне кодування; синтез операцій; другий операнд.

Синтез обратных двухразрядных двухоперандных операций строгого устойчивого криптографического кодирования на основе преобразования второго операнда

В. Н. Рудницкий, Р. Ш. Бердыбаев, Р. В. Бреус, Н. В. Лада, М. А. Пустовит

Аннотация. На основе анализа группы двухразрядных двухоперандных операций строгого устойчивого криптографического кодирования установлено и формализованы взаимосвязи между прямыми и обратными операциями и доказана их корректность. Применив технологию объединения одноопераднных операций строгого устойчивого криптографического кодирования в двухоперандные операции и использовав установленные взаимосвязи, предложено метод синтеза обратных операций для известных прямых операций. Данный метод обеспечивает построение обратной операции путем преобразования второго операнда двухразрядной двухоперандной операции строгого устойчивого криптографического кодирования. В статье на примерах построения моделей взаимосвязей между операциями и синтезом модели обратной операции рассматривается вся последовательность математических преобразований, которая обеспечивает синтез формализованной модели операции, пригодной для практического применения в криптопримитивах. Синтезаторные операции реализуются как на программном, так и на аппаратном уровнях, и обеспечивают простоту достижения эффекта строгого устойчивого криптографического кодирования.

Ключевые слова: криптографическое кодирование; декодирование; обратные операции; криптопреобразование; перестановки; надежность шифрования; строгое устойчивое криптографическое кодирование; синтез операций; второй операнд.

Applied problems of information systems operation

UDC 519.7 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.17**

S. M. Babayev[1], L. H. Mammadova[2]

[1] War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan
[2] Institute of Systems Control of the Azerbaijan National Academy of Scenices, Baku, Azerbaijan

"OPTIMAL" SOFTWARE FOR CALCULATION OF THE TACTIC GROUP COMPOSITION

Abstract. The preparation of operations the definition of number of ammuniation and technical means involved (used) in tactical group is one of the main matter. In many cases it is required to minimize the estimated casualties among the personnel by taking into account the number of ammunation, weaponry, crew, special forces involved in forming the tactical group. The article is devoted to the programme providing the mathematical model called "Optimal" which deals with the optimizing the content of the tactical group by minimizing the casualties. The program is designed in Visual Studio environment and written in C# algorithm language. In order to use the programme you have to have NET Framework v4.0.30319 version in your operational system.

Keywords: tactical group; casualties; optimization; software.

Introduction

In the course of preparation of operations the definition of number of ammuniation and technical means involved (used) in tactical group is one of the main matter. The definition of tactical group has been prevalently enlightened in a myriad periodic (scientific technical literature) depending on the form of advance, type and the circumstances. It is obvious that these principles can be implemented by selecting various types of ammunition and technical means. This tendency enables to make an optimal choice in selecting variants of ammunitions depending on requirements proposed. The mathematical formulations of aforementioned principles are shown in chart [8, 9]. It comprises different approaches of optimization of the weapons included to the tactical group, their general estimation and minimizing the value have been accepted.

In many cases it is required to minimize the estimated casualties among the personnel by taking into account the number of ammunation, weaponry, crew, special forces involved in forming the tactical group. The article is devoted to the programme providing the mathematical model "Optimal" which optimize and minimize the losses within the tactical group.

"OPTIMAL" programme provision

"OPTİMAL" programme is designed in Visual Studia environment and written in C# algoritm language. In order to use the programme you have to have NET Framework v4.0.30319 version in your opperational system. The block scheme of the module is displayed in Fig. 1. The images on optimal program's interface are shown in Fig. 2, a, b, c. Initially from the Programme window the ammunition category is chosen from the existing forces part. The weapons appropriate to the categories are seen in interface.

Any existing weapon can be chosen by clicking and replaced in a new scheme. At the same time the number and names of the weapons become visible for the user. The maximal number of the weapons chosen for the usage should be selected in " the maximum number of weapons for disposal " window as well. It should be taken into account that the number of weapons selected for usage must not be fewer than the existing number of weapons.

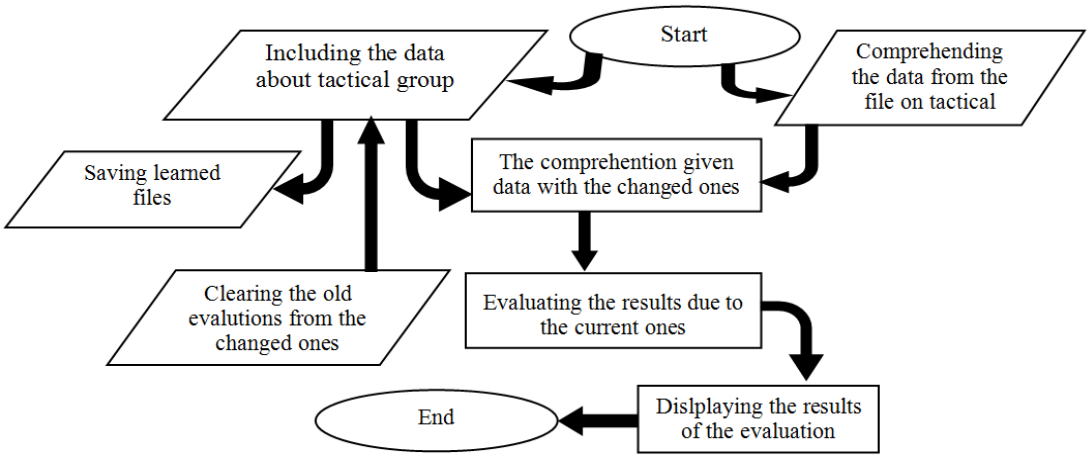
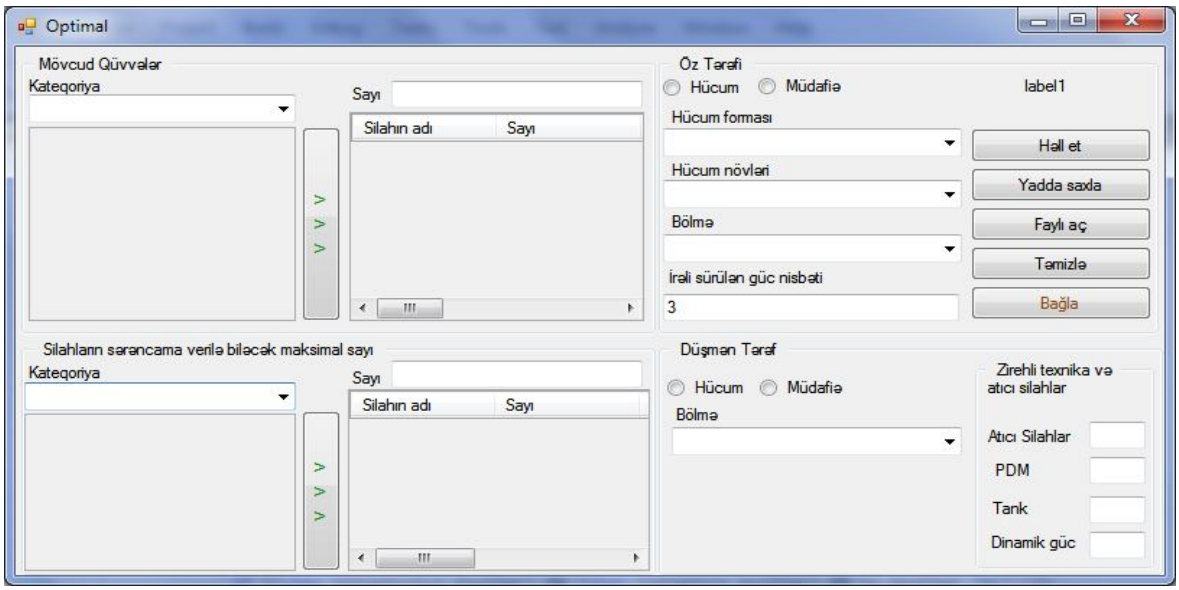
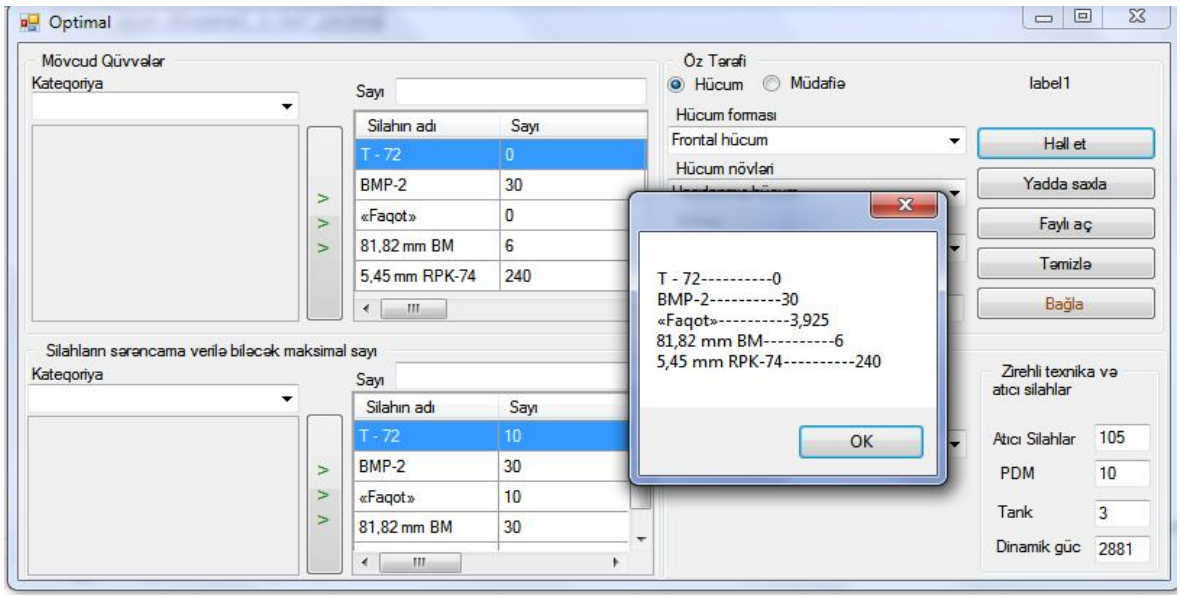


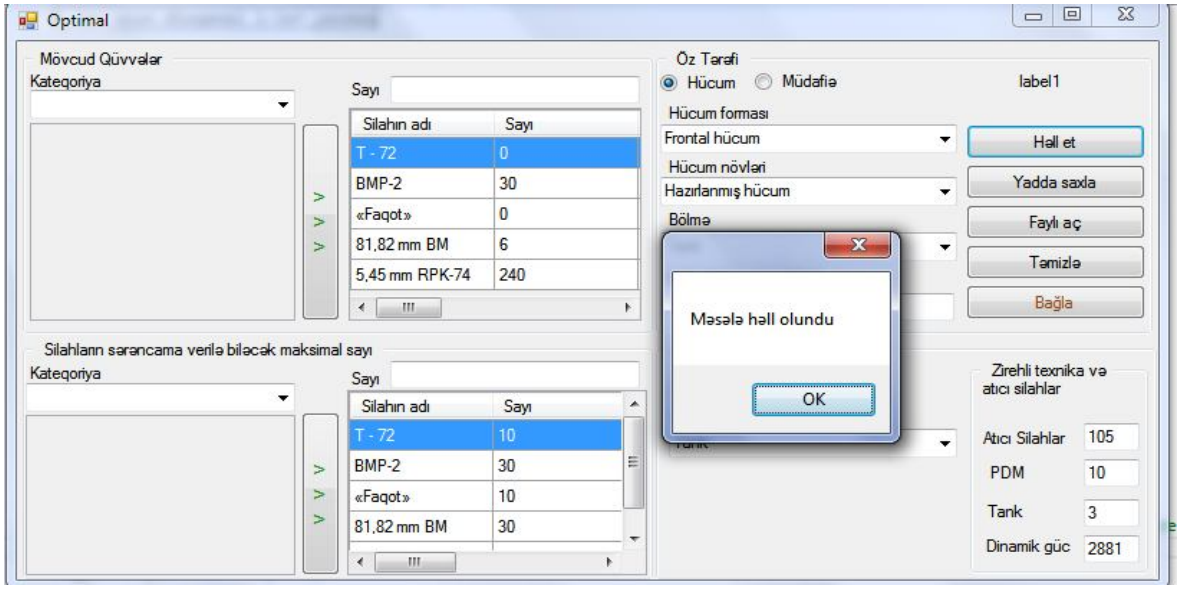
Fig. 1. Scheme of module "OPTİMAL"



a



b



c

Fig. 2. Images on interface

The advance form (the level of defence readiness), the types of advances (the condition obstacle system), sections and selections like aforementioned are carried out in own window part of the program. The number of enemy's armed weaponry and small guns should be selected in the armored vehicles and shooting weapons" section.

The data should be included with maximal accuracy. In the case of necessity of reusing the date later it is possible to save it in ".txt" type of file by clicking the "save" button.

By clicking "open the file" button we can use given data for the latest usage .the name of the weapon included by mistake or if it does not respond the current situation the scheme of weapon file is cleared by using "Clear" button and the names of new weapons are included again. By clicking "Solve" "the optimal contain of tactical group" appears the new window. It is possible to close completely the window and summarize the programme by clicking "Close" button.

Conclusion

So, the article is devoted to the programme providing the mathematical model called "Optimal" which deals with the optimizing the content of the tactical group by minimizing the casualties.

"OPTİMAL" programme has been written in Visual Studio environment in C+ algorithm language. In order to use the Program provision it is necessary to posses .NET Framework v4.0.30319 version.

REFERENCES

1. Popov, V. I. (2005), "About conception of mobile forces creation", *Voennaya mysl*, No. 11, Moscow.
2. Vorobyev, I. N. (2001), "Combat groups tactic*", Voennaya mysl*, No. 01 (01-02), Moscow.
3. (2015), *MNDN 3.0, Combat instruction about land forces tactic activities*, II part, Tabor, battalion, Baku, 314 p.
4. (1997), *KKT 193-2, Tank ve mexanize piyade tabur görev kuvveti,* T.C. General Kurmaybaşkanliği Kara Küvvetleri Komutanliği, Ankara, 300 p.
5. Babayev, S.M. (2016), "Analysis of application rules of Russia AF tactic groups in combat activities", *Herbi Bilik journal*. No. 6.
6. (1986), *Tactic of motorized infantry, tank company and battalion*, Voenizdat, Moscow.
7. (1985*), General tactic: defense (offence) of division*, Voenizdat, Moscow.
8. Babayev, S.M., Səbziev, E.N. and Bayramov, A.A. (2016), "Evaluation of optimal composition of tactic groups for offence", *Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences*, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems, Vol. XXXVI, No. 6, pp. 89-96.
9. Babayev, S.M., Sabziev, E.N. and Bayramov, A.A. (2019), "GUDJ" software for combat power calculation", *National security and military sciences*, vol. 5, no. 3, pp. 77-81.

Received (Надійшла) 11.10.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 13.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Бабаєв Сіавуш Мамед огли – ад'юнкт, Військова Академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;
Siavush Mamed Babayev – adjunct, War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan;
e-mail: bsmo1965@mail.ru; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-5821-0137

Мамедова Ламія Г. – докторант, Інститут систем управління Азербайджанської національної академії наук, Баку, Азербайджан;
Lamia H. Mammadova – doctoral student, Institute of System Control of the Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan;
e-mail: leman.m403@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-0345-5049

Програмне забезпечення "OPTIMAL" для розрахунку оптимального складу тактичної групи

С. М. Бабаєв, Л. Г. Мамедова

Анотація. Однією з основних завдань підготовки військових операцій є визначення кількості необхідного озброєння і техніки, що використовується в тактичних групах. У багатьох випадках це вимагає мінімізацію втрат в живій силі спеціальних сил, військової техніки і озброєння для формування тактичної групи. Дана стаття присвячена результатам розробки та експлуатації програмного забезпечення математичної моделі "Optimal", яка дозволяє оптимізувати склад тактичної групи шляхом мінімізації втрат. Програма складена в середовищі Visual Studio і написана на алгоритмічній мові C#. Для використання програми необхідно мати .NET Framework v4.0.30319 версії в оперативній системі комп'ютера.

Ключові слова: тактична група; втрати; оптимізація; програмне забезпечення.

Программное обеспечение "OPTIMAL" для расчета оптимального состава тактической группы

С. М. Бабаев, Л. Г. Мамедова

Аннотация. Одной из основных задач подготовки военных операций является определение числа необходимого вооружения и техники, используемого в тактических группах. Во многих случаях это требует минимизацию потерь в живой силе специальных сил, военной техники и вооружения для формирования тактической группы. Данная статья посвящена результатам разработки и эксплуатации программного обеспечения математической модели "Optimal", которая позволяет оптимизировать состав тактической группы путем минимизации потерь. Программа составлена в среде Visual Studio и написана на алгоритмическом языке C#. Для использования программы необходимо иметь .NET Framework v4.0.30319 версии в оперативной системе компьютера.

Ключевые слова: тактическая группа; потери; оптимизация; программное обеспечение.

UDC 681.2.08:53.088 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.18**

I. Hrihorenko, T. Drozdova, S. Hrihorenko, E. Tverytnykova

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

APPLICATION OF USER INTERFACE FUZZY LOGIC TOOLBOX FOR QUALITY CONTROL OF PRODUCTS AND SERVICES

Abstract. In this work, the solution for the quality control of products and services is illustrated for the first time on examples of wine production and the provision of educational services in the university by creating a heuristic analyzer based on the Fuzzy Logic Toolbox interface of the Matlab program. There were also considered the problems of constructing quality control models with fuzzy logic for solving problems arising in cases when it is not possible to use classical statistical methods. The factors influencing the quality of products, in particular wine, and services on the example of providing education are analyzed, the possibility of using the fuzzy logic apparatus for determining the weight contribution of factors that ensure maximum quality is proved. Computer simulation using the Mamdani algorithm is performed, which consists of fuzzification with the definition of ranges of change of input values for each example, assigning the distribution functions for each input parameter; calculation of the rules, based on the adequacy of the model; defuzzification with the transition from linguistic terms to quantitative evaluation; graphical construction of the response surface using a centroid method with determination of the center of gravity of the response surface. The modeling has confirmed that the creation of a heuristic analyzer for determining the quality of wine and the quality of education is appropriate and necessary for preventing the production of substandard products and the provision of substandard services.

Keywords: fuzzy logic; heuristic analyzer; fuzzification; defuzzification; quality control.

Introduction

Currently, there is an active scientific search for methods to improve the quality of products and services to ensure a high competitive level due to the European integration of Ukraine. The very actual remains the scientific and applied task of improving the quality of products and services, by identifying the weakest stage of production or service delivery, the impact on which will improve the quality and the competitive level.

In most cases, for objects of qualimetry, the input parameters have one unit of measure, and the output parameter is different. Under such conditions it is impossible to carry out the mathematical operations and determine the share of influence of the factor on the final result. In addition, products and services can be attributed to poorly formalized ones, and ones that are affected by inaccuracy, ambiguity, ambiguity, non-stationarity, uncertainty, etc. In this case, it is advisable to use fuzzy logic, which by means of fuzzification allows you to move from numbers to linguistic terms, make up rules, and then, thanks to defuzzification, return to numbers.

The subject of fuzzy logic is the study of judgments in conditions of fuzziness, which are similar to judgments in the usual sense, as well as their application in computer systems [1-3]. Serious development theory received in the works of the scientist Jerry M. Mendel, who gave a definition for the basic algorithms of fuzzy logic. This was reflected in his works [4-6].

Currently, there are many algorithms for fuzzy logic. Most commonly used are the following: the algorithms Mamdani [7], Tsukamoto [8], Sugeno [9], Larsen [10]. In work [6] models were chosen for linguistic variables in the fuzzy logical derivation of Mamdani and its advantage over other methods in assessing quality was proved. The basic analytical relations describing the functioning of this algorithm are presented in the works [11,12].

Further literary analysis shows an increased interest in using the mathematical apparatus of fuzzy logic in the industry and the socioeconomic sphere. The paper [13] presents a new system identification methodology for industrial systems. The efficacy of the proposed approach is demonstrated through the experimental trails from a compressor in an industrial gas turbine system. So in [14] the solution of the problem of classification of defects of metallic pipes of oil and gas pipelines with the help of the algorithm of fuzzy logic inference Mamdani and fuzzy knowledge base Sugeno is presented. In [15] a method for increasing the accuracy of detecting defects in metal products was proposed, and the possibility of using the apparatus of the theory of fuzzy sets to determine such parameters of an eddy current transducer was proved, which would make it possible to minimize the risk of making an error in determining the defect. In the work [16] solution for the control of parameters accuracy of technological process of manufacturing kefir and increase of its quality by creating the heuristic analyzer is considered. In the work [17] the examples of use of the fuzzy-logic device in the business, medical diagnostics, in various control and ecology and environmental protection spheres has been considered. The paper [18] aims to establish a non-linear regression model based on Mamdani fuzzy inference system and the data used in this operation is collected with pollutants. The resultant air quality index is then measured.

The described above analysis sets the goal to consider the practical implementation of the use of the fuzzy-logic device in terms of quality control of products and services by modeling a heuristic analyzer using the Fuzzy Logic Toolbox user interface in a software environment MATLAB.

Fuzzy logic inference using the Mamdani algorithm

False logical conclusion based on Mamdani's algorithm is performed by fuzzy knowledge base:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j}\left(\bigcap_{i=1}^{n} x_i = a_{ijp}, u_{jp}\right), y = T_j, j = \overline{1,m}, \quad (1)$$

where the values of the input and output variables are given by fuzzy sets.

Enter the following notation: $\mu_{jp}(x_i)$ – the membership function of the entry x_i is a fuzzy term a_{ijp}:

$$a_{ijp} = \int_{\underline{x}_i}^{\overline{x}_i} \mu_{jp}(x_i)/x_i,\ x_i \in \left|\underline{x}_i, \overline{x}_i\right|, \quad (2)$$

$\mu_{T_j}(y)$ – function of the output of the fuzzy term T_j:

$$T_j = \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \mu_{T_j}(y)/y,\ y \in \left|\underline{y}, \overline{y}\right|. \quad (3)$$

The degrees of membership of the input vector $X^* = (x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*)$, fuzzy terms T_j of knowledge base is calculated as follows:

$$\mu_{T_j}(X^*) = \bigcup_{p=\overline{1,k_j}} \omega_{jp} \bigcap_{i=\overline{1,n}} \left[\mu_{jp}(x_i^*)\right], j = \overline{1,m}, \quad (4)$$

where $\bigcup(\bigcap)$ – operation with s-norms (t-norms), that is calculated from the set of implementations of logical operations OR (AND). The most commonly used are the following implementations: for OR operation – finding the maximum and for operation AND – finding the minimum. The result is this fuzzy sets $\tilde{y}$, the appropriate input vector X^*:

$$\tilde{y} = \frac{\mu_{\tilde{T}_1}(x^*)}{T_1} + \frac{\mu_{\tilde{T}_2}(x^*)}{T_2} + ... + \frac{\mu_{\tilde{T}_m}(x^*)}{T_m}. \quad (5)$$

The peculiarity of this fuzzy set (5) is that the its universal term is the term set of the output variable *y*. For the transition from the fuzzy set given on the universal set of fuzzy terms $\{T_1, T_2, \ldots, T_m\}$ to the fuzzy set on the interval $\left|\underline{y}, \overline{y}\right|$ the following steps should be taken:

1) "cut" function of membership $\mu_{\tilde{T}_j}(y)$ at the level $\mu_{\tilde{T}_j}(X^*)$;

2) aggregate the resulting fuzzy sets:

$$\tilde{y} = agg_{j=\overline{1,m}}\left(\int_{\underline{y}}^{\overline{y}} min\left(\mu_{T_j}(X^*), \mu_{T_j}(y)\right)/y\right). \quad (6)$$

The exact output value y corresponding to the input vector X^* is determined by the defuzzification of the fuzzy set $\tilde{y}$.

This algorithm at this time received the greatest practical application in the problems of fuzzy modeling. A distinctive principle of this model from others is that its rules of inference on the right side contain fuzzy values (membership functions). When using the maximum as an aggregation operator and a minimum as an implication operator, the procedure for obtaining a fuzzy output value is a composition of max-min.

Formation of the rules base for the system of fuzzy inference is carried out in the form of an ordered coordinated list of fuzzy production rules in the form "IF A THEN B", where the antecedents of the fuzzy rules kernels are constructed with the help of logical "I" links, and the consequent kernels of the rules of fuzzy production are simple.

The fuzzification of the input variables is carried out in the manner described above, just as in the general case of constructing a fuzzy inference system.

Aggregation of the subconditions of fuzzy products rules is carried out with the help of the classical fuzzy logic operation "AND" of two elementary statements *A, B: T* (*A* ∩ *B*) = min{*T* (*A*); *T* (*B*)}. Activation of subcontracting rules of fuzzy products is carried out by the method of min-activation μ(*y*) = min{*c*; μ(*x*)}, where μ(x) and *c* – are, respectively, the membership functions of terms of linguistic variables and the degree of truth of fuzzy sentences forming the corresponding consequent of the kernels of fuzzy product rules.

Accumulation of subcontracting rules of fuzzy products is performed using the classic for fuzzy logic max-combining the membership functions

$$\forall\, x \in X \mu ABx = \max\{\mu Ax; \mu Bx\}.$$

The defuzzification is carried out by the method of the center of gravity and the center of the area:

$$y = \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} y \cdot \mu_{\tilde{y}}(y)\,dy \Big/ \int_{\underline{y}}^{\overline{y}} \mu_{\tilde{y}}(y)\,dy. \quad (7)$$

The most commonly used method of defuzzification is the center of gravity. However, applying this method, it is necessary to remember that the range of clear values of output variables will always be the interval at which it is defined. This defect is deprived of the second most frequently used method of dephasing - the center of maxima. When using the method of the center of maxima, one should take into account the fact that the result of dephasing is not sensitive to the rules contribution, that have small degree of fulfillment and that depends only on the rules, the degree of fulfillment of which is maximal.

Building a heuristic analyzer of the fuzzy knowledge base of Mamdani to determine the factors most influencing the quality of products and services

To build a heuristic analyzer, we use the interface of the fuzzy logic system of the MATLAB computer program and in it the Mamdani knowledge system in it. Calculations and construction of fuzzy logic diagrams are performed using the same application.

1. Construction of a heuristic analyzer for quality control of wine

The main parameters affecting the quality of the wine are the observance of the technology in production and the quality of raw materials used for production. Thus, the model must have two inputs and one output. As the first entry, we choose compliance with technology, and as the second input - the quality of raw materials. As the initial value, we choose the quality of the products (Fig. 1).

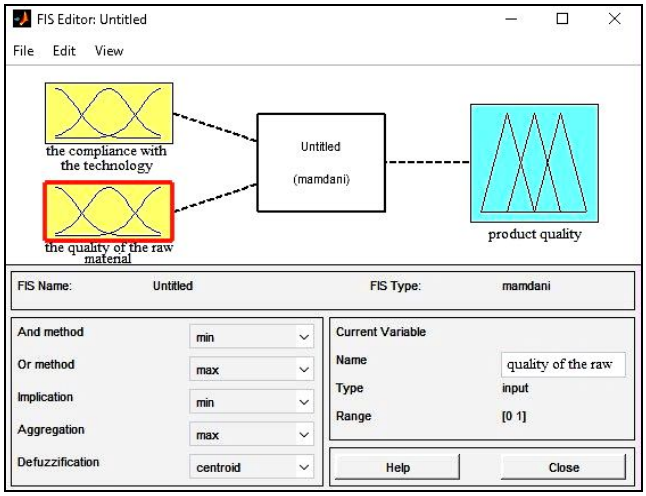


Fig. 1. Window task input and output parameters for wine quality control

We assign membership functions for the selected input variable - compliance with the technology. In Range, we set the range in which the function changes (from 1 to 10 points). We set the type of the membership function in the Type column: for three membership functions, namely the technology is not followed (after) (range from 0 to 3 points), partially adhered to (good) (range from 4 to 7 points), and is completely (excellent) (range from 8 to 10 points) choose the distribution of Gauss (Fig. 2).

We assign membership functions for the input variable - the quality of the raw material. In Range, we set the range in which the function changes (from 1 to 10 points). We set the type of the membership function in the Type column: for two membership functions, namely, bad quality (range from 0 to 5 points), good quality raw materials (range from 6 to 10 points) (trarmm), trapezoidal distribution law (Fig. 3).

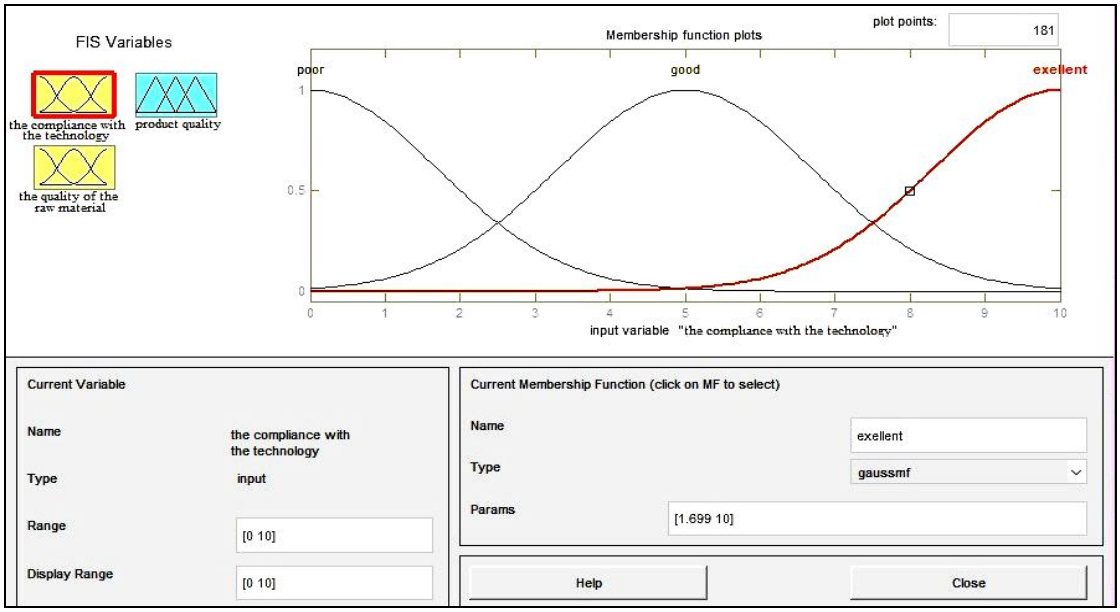


Fig. 2. Specifying a technology compliance parameter window

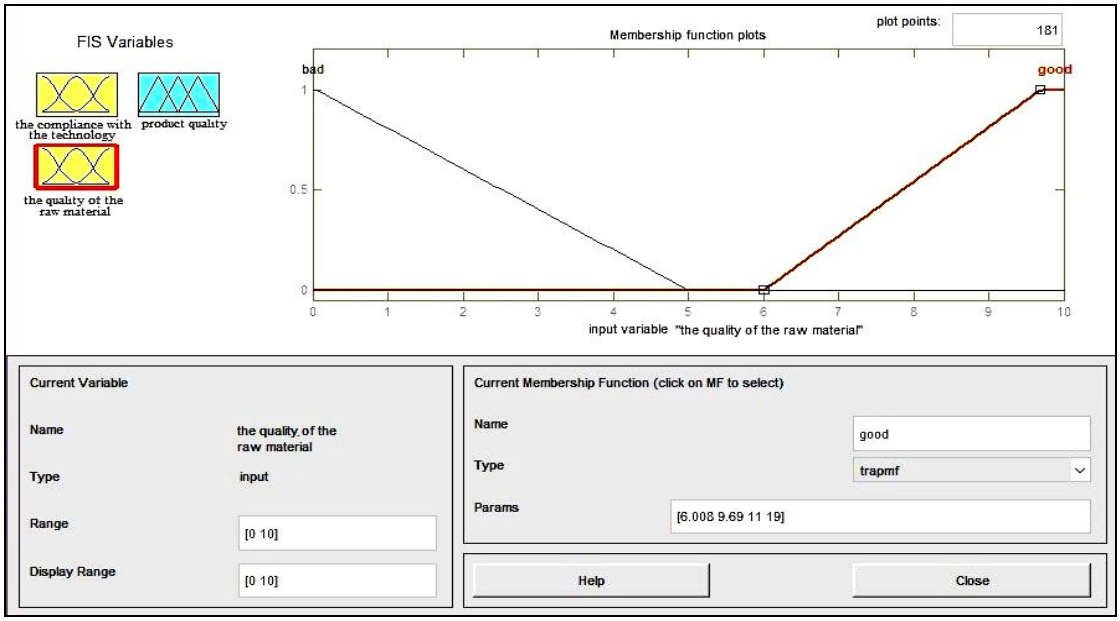


Fig. 3. Specifying a technology compliance parameter window

We assign membership functions for the selected output variable - product quality. In Range, we set the range in which the function changes (from 1 to 100%). Specify the type of membership function in the Type column: for three membership functions, namely, the unquality (range from 0 to 50%), suitable for use (range from 50 to 70%) and quality products (range from 70 to 100%) choose the distribution (trimf) trapezoidal distribution law (Fig. 4). We set the rules for which the model will operate. In the "rules" window we will make rules that characterize each of the parameters (Fig. 5).

Since the system has two inputs (each coded as 00, 01, 10), so the maximum output states 3*2=6 different output combinations, but there are critical conditions that clearly classify the quality of products, as appropriate rules to reduce the number to five.

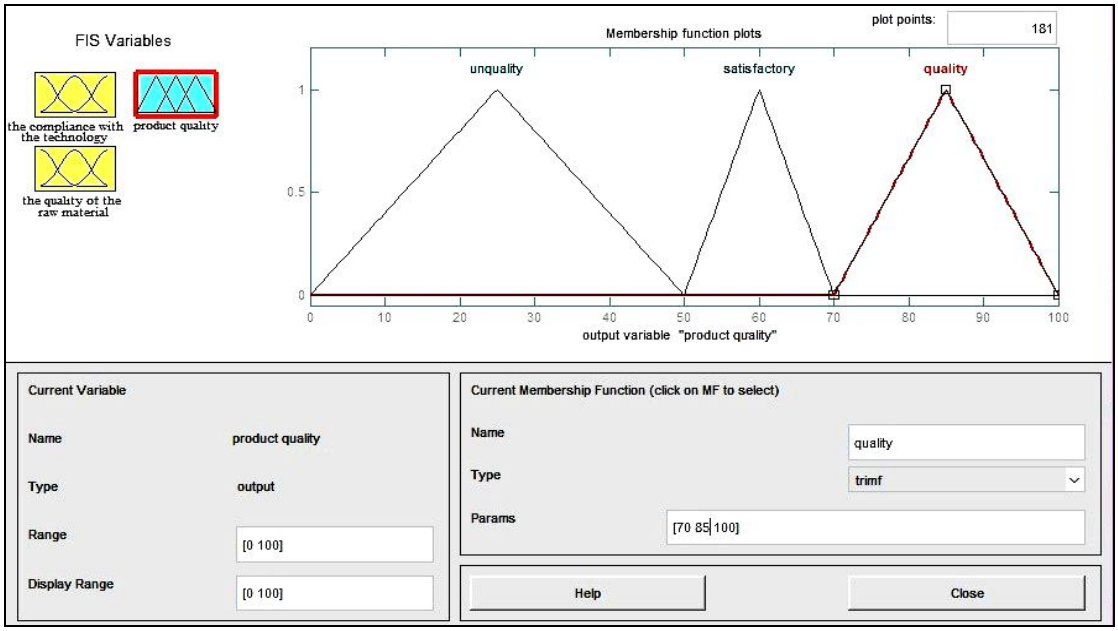


Fig. 4. The task window of the parameters of the output parameter is the quality of the wine

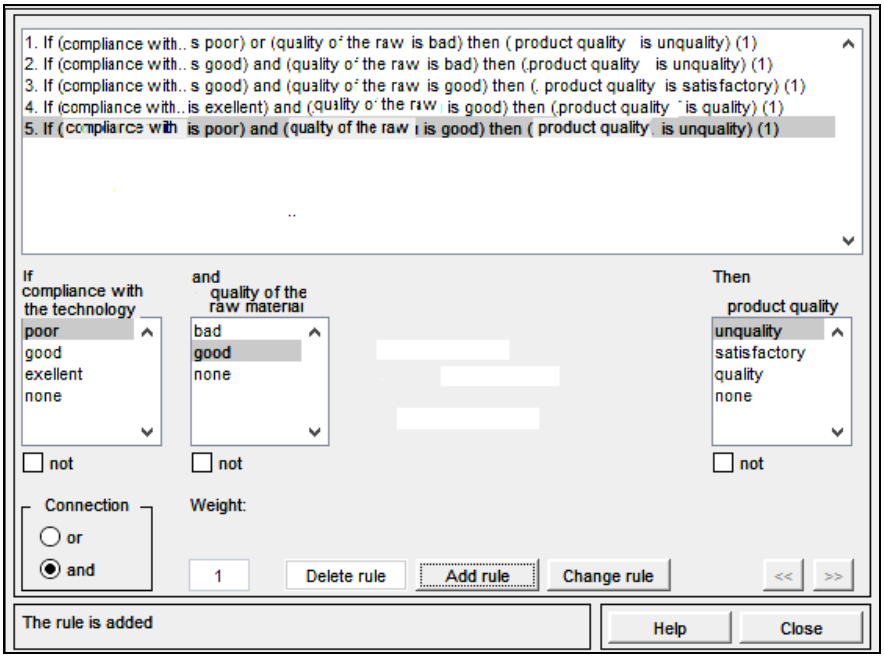


Fig. 5. Window rules editor

Some of them:

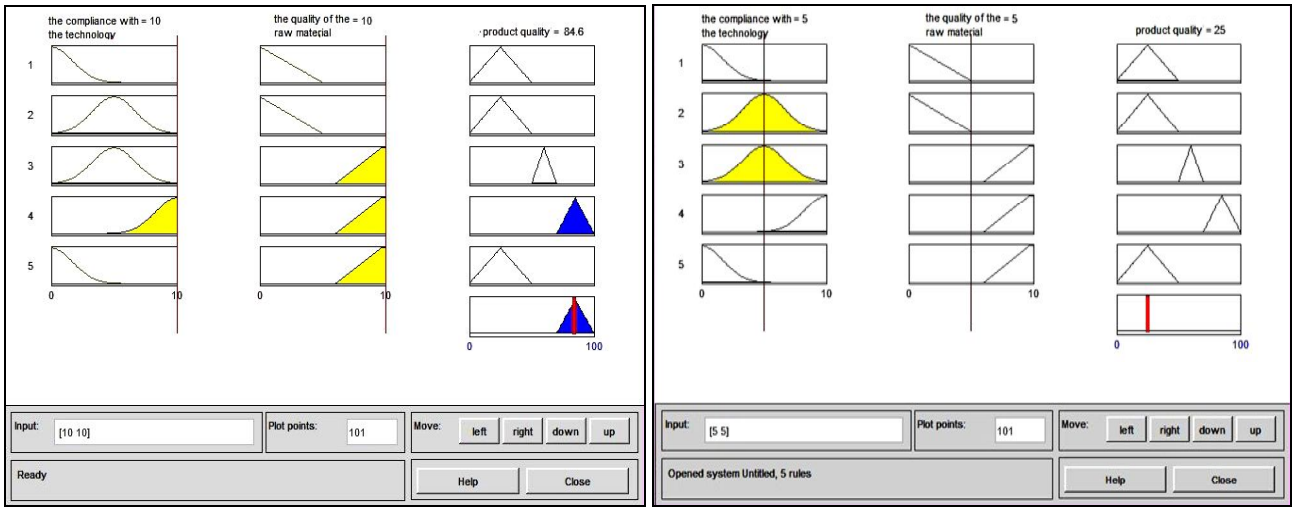
1. If the technology is "bad", and the quality of raw materials is "unsatisfactory", then the quality of the product is "poor".

2. If the technology is "good" and the quality of the raw materials is "unsatisfactory", the quality of the product is "poor".

3. If the technology is "good" and the quality of the raw material is "qualitative", then the quality of the product is "suitable for use".

From Fig. 6, a it is evident that fifty percent compliance with technology and the same quality of raw materials provide twenty-five percent of the product quality.

Full compliance with the technological regime and the use of quality raw materials give only 84.6% of quality (Fig.6, b). Graphic representation of values of variables and response surface are shown in Fig. 7.



a b

Fig. 6. Window of values of variables:
a – at 50% compliance with the input parameters; b – at 100% compliance with the input parameters

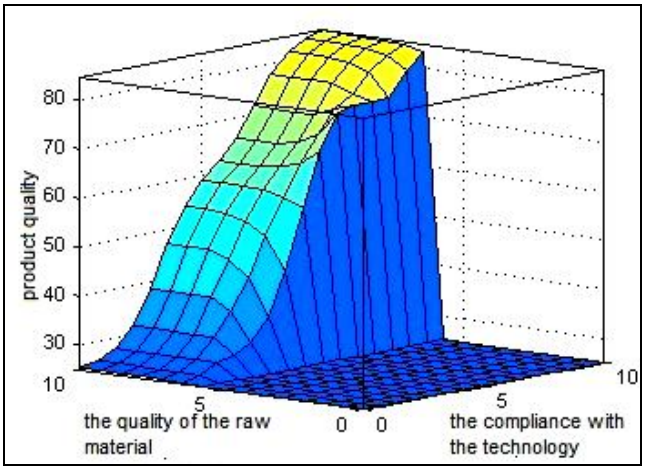


Fig. 7. The surface of the fuzzy model response in the control of wine quality

2. Building a heuristic analyzer for monitoring the quality of educational services

The main indicators of quality (IQ) educational services was chosen "Quality of entry", "Quality of the learning process" and "Quality of the results of education".

The output value will be the quality of education (Fig. 8). We assign membership functions for the selected input variables. Each variable has three terms "low", "medium" and "high" quality.

We describe the fuzzy variable "Quality of entry". In Range we will set the range in which the function changes, from 100 to 200 points (according to the rules of admission to institutions of higher education).

We set the type of the membership function in the Type column: for three membership functions, namely low quality (range from 100 to 140 points), average quality (range from 110 to 190 points) and high quality (range from 160 to 200 points) choose a triangular form (Fig. 9, a).

We describe a fuzzy variable "Quality of the learning process". According to the European scale ECTS we will assume that the minimum rating that characterizes the quality of training is the assessment of E (60 points), and the maximum - A (100 points). Therefore, at the Range point we will set the range in which the function changes, from 60 to 100 points (since the quantitative assessment of the student's learning outcomes is the average score of the exam session). In the Type box, select the Gaussian distribution (Fig. 9, b).

Similarly, we define the membership functions for the selected input variable - the quality of the results of education (Fig. 9, c).

We assign membership functions for the selected output variable - the quality of education. In the Range setting we set the range of the change of the triangular membership function - from 1 to 100%. (Fig. 10).

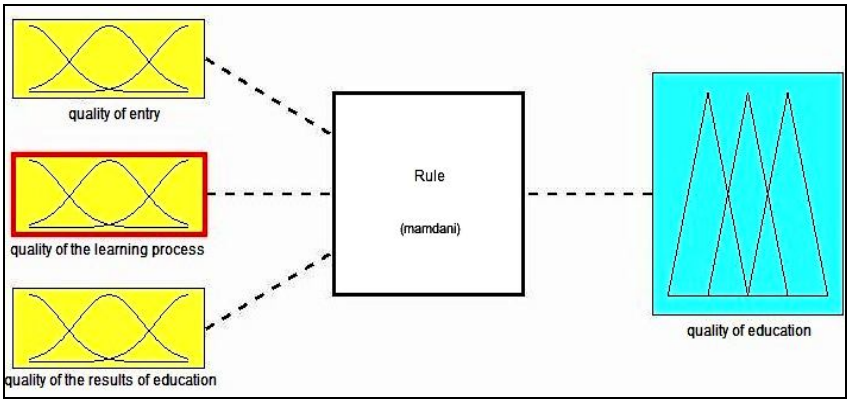
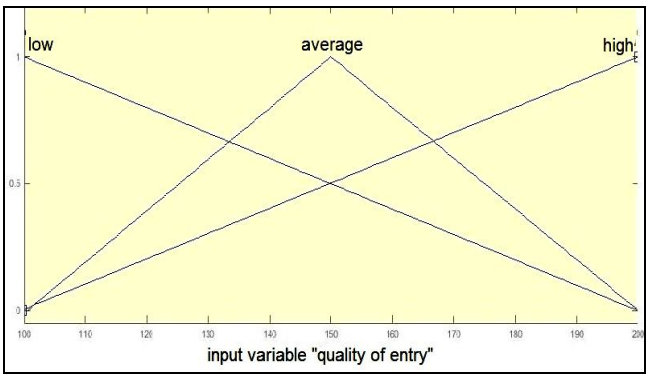
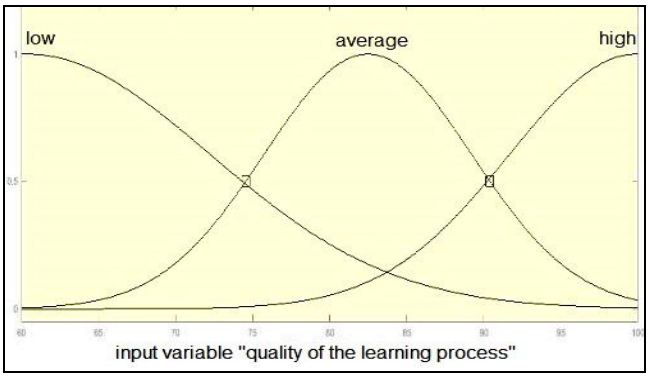


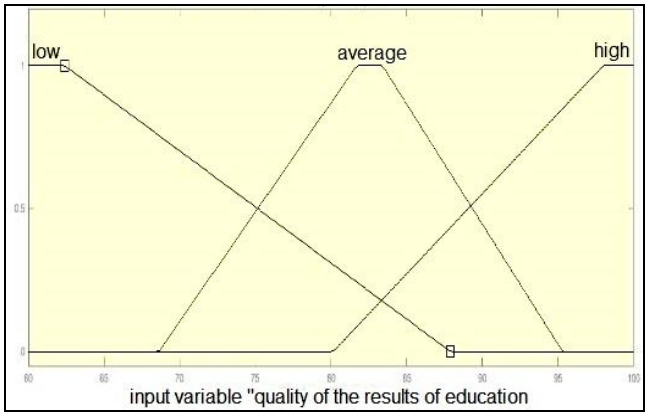
Fig. 8. Window task input and output parameters for quality control educational services



a



b



c

Fig. 9. Window task parameters
for the quality of educational services:
a – membership function for the input parameter
"Quality of entry";
b – membership function for the input parameter
"Quality of the learning process";
c – membership function for the input parameter
"Quality of the results of education"

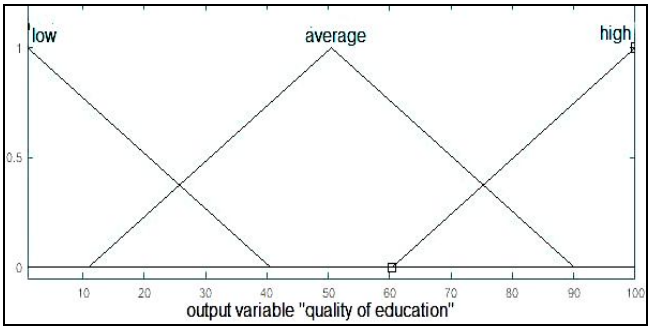
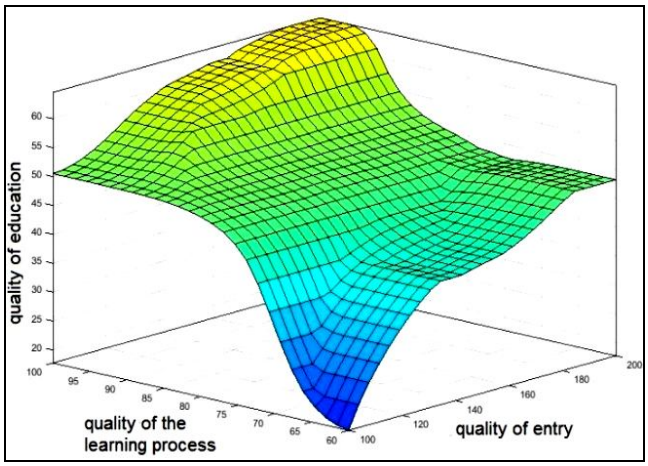
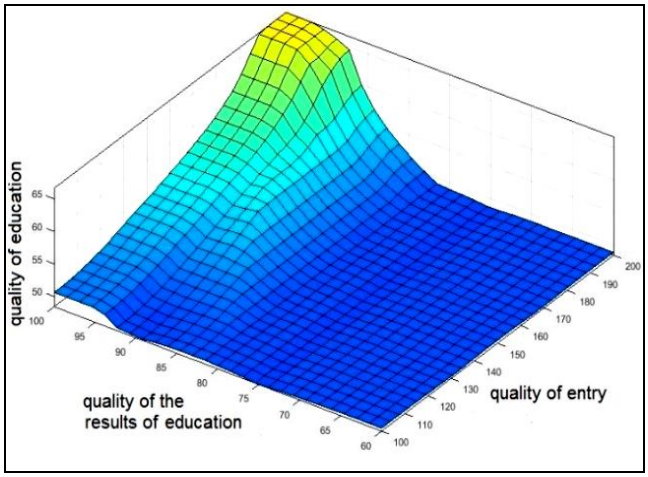


Fig. 10. The window of the problem
of the initial parameter is the quality of education

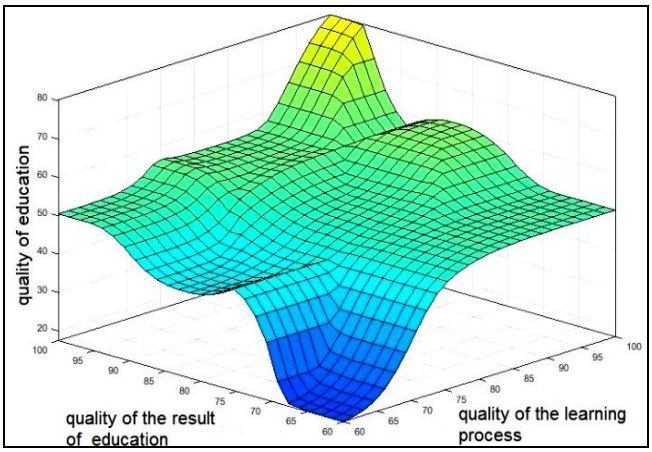
Then we set the rules of the fuzzy conclusion and get the response surface (Fig. 11, a-c), which shows three different combinations of input parameters from the original.



a



b



c

Fig. 11. The surface of the fuzzy model response
in controlling the quality of educational services:
a – the dependence of the quality of education
on the quality of admission and the quality of education;
b – the dependence of the quality of education
on the quality of the entry and quality of the result;
c – the dependence of the quality of education
on the quality of the learning process and the quality
of the result of education

Using the graphical user interface, we managed to build a fuzzy logic system that solves the tasks of monitoring and evaluating the quality of both products and services.

In the first case, this system made it possible to determine the impact on the quality of production of compliance with the production technology and the quality of raw materials in the production of wine.

In the second case, the system slows the influence of the quality of all stages of student training on the resulting quality of education.

The obtained simulation results (Fig. 7, 11) illustrate the adequacy of the fuzzy system for both cases considered, allow us to determine the optimal conditions for achieving the desired result.

It should be noted that for both examples, the criterion of optimality is one hundred percent quality of products and services, which from the very beginning is a difficult task.

However, it is this quality that is both a criterion for economically profitable production and a consumer of consumer health.

In our cases, this phenomenon is illustrated in the following way: with one hundred percent observance of all input parameters, the value of the output parameter does not reach the given maximum. This can be explained by taking into account the various risks that affect the system.

A better variant of the resulting quality can be achieved by choosing another method of defuzzification, but the fuzzy model becomes richer and inferior to adequacy.

Conclusions

1. The proposed approach, based on fuzzy logic, provides an opportunity to take into account the parameters of influence on the technological process to determine the optimal relationships between them. At the same time, its use is correct for quality control of both products and services. Thus, it is possible to solve the problem of quality control of products and the quality of service provision precisely thanks to the fuzzy-logic apparatus.

2. Using the graphical user interface of a built-in fuzzy logic system allows you to set what should be the input parameters in order to provide high quality output.

3. The proposed heuristic analyzer serves as an advisor for a technological engineer or specialist in the field of service provision and can be used in any field of the national economy.

REFERENCES

1. Zadeh, L.A. (1965), "Fuzzy sets", *Information and Control*, vol. 8 (3), pp. 338–353.
2. Zadeh, L.A. (1996), "Fuzzy logic – computing with words", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 4, is. 2, pp. 103–111.
3. Zadeh, L.A. (1971), "Similarity relations and fuzzy orderings", *Information sciences*, vol. 3, pp. 177–200, DOI: https://doi.org/10.1016/S0020-0255(71)80005-1.
4. Mendel, Jerry M. and Mouzouris, George C. (1977), "Designing fuzzy logic systems", *IEEE Transactions on circuits and systems*, vol. 44, p. 11.
5. Mendel, J.M. and Wang, L. (1992), "Fuzzy Basis Functions, Universal Approximation, and Orthogonal Least Squares Learning", *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 3, pp. 807–814.
6. Wu, H. and Mendel, J.M. (2004), "On Choosing Models for Linguistic Connector Words for Mamdani Fuzzy Logic Systems", *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, vol. 12, pp. 29–44.
7. Mamdani. E.H. (1974), "Application of fuzzy algorithms for the control of a simple dynamic plant", *Proc. IEEE-1974*, pp. 121–159.
8. Mochammad Iswan Perangin-Angin, Andre Hasudungan Lubis, Imelda, Sri Dumayanti, Raheliya Br. Ginting and Andysah Putera Utama Siahaan (2017), "Implementation of Fuzzy Tsukamoto Algorithm in Determining Work Feasibility", *Journal of Computer Engineering (IOSR-JCE)*, vol. 19, issue 4, ver. IV, pp. 52–55.
9. Michio, Sugeno (1983), "Tomohiro Takagi. Multidimensional fuzzy reasoning", *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 9 (1), pp. 313-325.
10. Larsen, H.L. and Yager R.R. (2000), "A framework for fuzzy recognition technology", *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 30, issue 1, pp. 65–76.
11. Shtovba, S.D. (2007), *Designing fuzzy systems using MATLAB*, Gorjachaja linija – Telekom, Moscow, 288 p. (in Russian).
12. Leonenkov, A.V. (2005), *Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH*, BHV-Peterburg, Sankt-Peterburg, 736 p.
13. Yuб Zhang, Junб Chen, Chrisб Bingham and Mahdi, Mahfouf (2014), "A new adaptive Mamdani-type fuzzy modeling strategy for industrial gas turbines", *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*, 6-11 July 2014, Milan, Italy, available at: http://bwbooks.net/index.php?id1=4&category=comp-lit&author=leolenkov-av&book=2005
14. Hrihorenko, I.V., Hrihorenko, S.M. and Gavrylenko, S.Yu. (2017), "Investigation of the possibilities of using the fuzzy-logic apparatus in measuring and classifying defects in metal tubes", *Ukrainian Metrological Journal*, vol. 2, pp. 42–49.
15. Hrihorenko, I. V. and Hrihorenko S.M. (2017), "Investigation of the influence of external and internal factors on the error in detecting defects in metal products thanks to the fuzzy-logic apparatus", *Metrologiya ta priladi*, vol. 3 (65), pp. 44–48.
16. Hrihorenko, I.V., Hrihorenko, S.M. and Bezborodyj, Ye.A. (2018), "Using fuzzy logic to control accuracy and improve product quality", *Metrologiya ta priladi*, vol. 3 (71), pp. 52–57. (in Ukrainian).
17. Asai, K., Vatada, D., Ivai S., Terano, T., Asai, K. and Sugeno M. (1993), *Applied fuzzy systems*, trans. with Japan, Mir, Moscow, 368 p. (in Russian).
18. Sankar, Ganesh S., Bhargav, Reddy N., Arulmozhivarman, P. (2017), "Forecasting air quality index based on Mamdani fuzzy inference system", *2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI)*, 11–12 May 2017, Tirunelveli, India.

Received (Надійшла) 18.10.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Григоренко Ігор Володимирович – кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Igor Hrihorenko – PhD, Associate Professor Department of Information and Measuring Technologies and Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
e-mail: grigmaestro@gmail.com; ORCID ID: https:// orcid.org/0000-0002-4905-3053.

Дроздова Тетяна Василівна – старший викладач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Tatyana Drozdova – Senior Lecturer Department of Information and Measuring Technologies and Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
e-mail: drozdova.tv@ukr.net; ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7315-5869.

Григоренко Світлана Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних та радіоелектронних систем контролю і діагностики, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Svetlana Hrihorenko – PhD, Associate Professor Department of Computer and Radio-Electronic Control Systems and Diagnostics, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
e-mail: sngloba@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-5375-9534.

Тверитникова Олена Євгенівна – доктор історичних наук, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій і систем, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна;
Elena Tverytnykova – Doctor of Historical Sciences, Associate Professor Department of Information and Measuring Technologies and Systems, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine;
e-mail: tveekhpi@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-6288-7362.

Застосування призначеного для користувача інтерфейсу Fuzzy Logic Toolbox для контролю якості продукції та послуг

І. В. Григоренко, Т. В. Дроздова, С. М. Григоренко, О. Є. Тверитникова

Анотація. В роботі вперше проілюстровано рішення задачі контролю якості продукції та послуг на прикладах виробництва вина і надання освітніх послуг у ВНЗ за допомогою створення евристичного аналізатора на базі інтерфейсу системи нечіткої логіки Fuzzy Logic Toolbox програми Matlab. Розглянуто питання побудови моделей контролю якості з нечіткою логікою для вирішення завдань, що виникають у випадках, коли немає можливості використовувати класичні статистичні методи. Проаналізовано фактори, що впливають на якість продукції, зокрема вина, і послуг на прикладі надання освіти, доведена можливість застосування апарату fuzzy logic для визначення вагового внеску факторів, які забезпечують максимальну якість. Проведено комп'ютерне моделювання за алгоритмом Mamdani, який складається з фазифікації з визначенням діапазонів зміни вхідних величин для кожного прикладу, завданням функцій розподілу для кожного вхідного параметра; обчислення правил, виходячи з адекватності моделі; дефаззифікації з переходом від лінгвістичних термів до кількісної оцінки; графічного побудови поверхні відгуку, використовуючи центроїдного метод з визначенням центру ваги поверхні відгуку. Моделювання підтвердило, що створення евристичного аналізатора для визначення якості вина і якості освіти доцільно і необхідно для того, щоб не допустити виробництво неякісної продукції і надання неякісних послуг.

Ключові слова: нечітка логіка; евристичний аналізатор; фазифікація; дефазифікація; контроль якості.

Применение пользовательского интерфейса Fuzzy Logic Toolbox для контроля качества продукции и услуг

И. В. Григоренко, Т. В. Дроздова, С. Н. Григоренко, Е. Е. Тверитникова

Аннотация. В работе впервые проиллюстрировано решения задачи контроля качества продукции и услуг на примерах производства вина и предоставления образовательных услуг в вузах посредством создания эвристического анализатора на базе интерфейса системы нечеткой логики Fuzzy Logic Toolbox программы Matlab. Рассмотрены вопросы построения моделей контроля качества с нечеткой логикой для решения задач, возникающих в случаях, когда нет возможности использовать классические статистические методы. Проанализированы факторы, влияющие на качество продукции, в частности вина, и услуг на примере предоставления образования, доказана возможность применения аппарата fuzzy logic для определения весового вклада факторов, которые обеспечивают максимальное качество. Проведено компьютерное моделирование по методу Mamdani, который состоит из фаззификации с определением диапазонов изменения входных величин для каждого примера, задачей функций распределения для каждого входного параметра; вычисления правил, исходя из адекватности модели; дефаззификации с переходом от лингвистических термов к количественной оценке; графического построения поверхности отклика, используя центроидного метод с определением центра тяжести поверхности отклика. Моделирование подтвердило, что создание эвристического анализатора для определения качества вина и качества образования целесообразно и необходимо для того, чтобы не допустить производство некачественной продукции и предоставления некачественных услуг.

Ключевые слова: нечеткая логика; эвристический анализатор; фаззификация; дефаззификация; контроль качества.

UDC 623.486+ 338.2+004.9 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.19**

S. Kopashynskii[1], O. Serpukhov[2], H. Makogon[2]

[1] The National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine
[2] Military Institute of Tank Troops of National Technical University, Kharkiv, Ukraine

THE USE OF "ELECTRONIC CLOUD" TECHNOLOGY TO IMPROVE THE FUNCTIONING OF THE RECOVERY SYSTEM OF ARMORED WEAPONS AND EQUIPMENT

Abstract. The **subject matter** of the article is the process of the system of recovery of armored weapons and equipment functioning in the performance of tasks for the purpose in modern conditions. The **goal** of the study is to create a decision support system for the recovery of armored weapons and equipment under the interactive analysis of temporal and spatial indicators of warfare based on the use of "electronic cloud " technology. The **tasks** to be solved are: to formulate tasks effectiveness will increase in the decision support system; to develope structural and functional-logical scheme of the system, the list of external, calculation and control modules; to determinate the volume and format of input and output information for each structural unit and information buses of the system; to define the format of protocols for information exchange, the content of "survey" cards. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used.On the basis of a systematic analysis of the existing of armored weapons and military equipment recovery system, the main conditions and factors affect its functioning in modern armed conflicts were determined. The following **results** are obtained. The synthesis of the structural and logical scheme of the decision support system "virtual headquarters" in the form of software with modular architecture was carried out. **Conclusions.** Today, not only the process of positioning forces and means of technical support and their rational placement relative to military units, but also rapid response to changes in the technical situation is complicated. Improving the quality of the of weapons and military equipment recovery system is possible by creating a decision support system "Virtual headquarters". The main idea of creating the system is the processing of incoming and outgoing information in interactive mode, operational and optimal management of information flows and visualization of the solution for the recovery of weapons and military equipment. The proposed modular system architecture provides a list of external, design and management modules; the scope and format of input and output information for every business unit and information system buses. The information space, where the system resources will be located, is proposed to be built using the "electronic cloud" technology.

Keywords: recovery of armored weapons and milllitary equipment; decision support system; virtual headquarters; electronic cloud.

Introduction

Formulation of the problem and research tasks. Today, the war has acquired a hybrid character, it is conducted in all areas using the latest technologies and weapons. Modern combat operations are characterized by dynamism, maneuverability, sharp changes in the situation, fighting in the depths of the enemy's defense with the use of reconnaissance and sabotage groups, artillery and mine-explosive barriers, etc. This causes a wider use of various types of weapons and military equipment, ammunition and military equipment. In these conditions they are such troops technical support activeness at performance of tasks on purpose as a subsystem of recovery that directly affect the ability of troops to perform tasks in the prescribed volumes and terms.

In modern Conditions not only the process of positioning forces and means of technical support and their rational placement relative to military units, but also rapid response to changes in the technical situation is complicated. The above indicates the **relevance of the study** and the need to form an approach to the organization of the armored weapons and military equipment (AWME) recovery system based on a combination of scientific methods and the latest information technologies for calculations and justification of the decision in the conditions of interactive analysis of temporal and spatial indicators of warfare.

Analysis of recent research and publications on the above issues shows the relevance of this one. According to experts and the analysis of information from open sources, the functioning of the AWME recovery system in modern armed conflicts has certain features. In works [1-11] the characteristic of the existing recovery system is given, an assessment of the effectiveness of its functioning is shown, the influence of external and internal factors on the organization of the process of recovering the equipment is determined.

As it is known the recovery system is assigned a lot of different content and complexity of the work, which is functionally distributed to the technical exploration, repair and evacuation of the AWME. Experts substantial the questions assess the evacuation capabilities of the repair and recovery units for the damaged armored weapons and military equipment samples, the choice of criteria for assessing the technological efficiency of recovery methods of components and rational method of recovery of details, taking into account the technological and economic characteristics of a particular repair enterprise. In addition, specialists offer options for determining the topological structure (the number of repair units, their location) and functional structure (division by levels of the system of tasks for maintenance and repair (MR), their solutions and MR sets), calculation of the optimal leverage the costs of moving the AWME, and the entire amount of work on the MR would be performed in a timely manner [12, 13]. However, there is no systematic combination of these techniques to solve the problems of improving the efficiency of the recovery system of AWME.

The **goal** of this work is creation of a decision support system for the recovery of AWME in the conditions of interactive analysis of temporal and spatial indicators of warfare based on the use of "electronic cloud" technology**.** To achieve this goal the following research tasks are solved: formulation of problems, the effectiveness of which will increase in the system of support of decision-making; development of structural and functional-logic system, the external, operating and control modules; determine the scope and format of input and output information for every business unit and information system buses; and the development of information exchange protocols, the content of the "survey" cards. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used.On the basis of a systematic analysis of the existing of AWME recovery system, the main conditions and factors affect its functioning in modern armed conflicts were determined.

Main material

1. Architecture of decision support system (DSS) "Virtual headquarters". In a general sense, the task of the DSS is to provide the decision maker with the information needed to make individual and group decisions based on computer processing.

The effectiveness of the use of the DSS is due to its ability to consider a significant number of alternatives in a short time, to use models for both analysis and assessment of the consequences of the decision. The architecture of the DSS, as a rule, combines three systems: analysis, information and calculation and solution formation [14-18].

Based on the definition that the AWME recovery system includes forces and means united by a single goal of maintaining this equipment in good condition and in constant readiness for use, it is advisable to assign the following tasks to the "Virtual headquarters" DSS:

– collection and primary processing of data for the implementation of evacuation measures;

– possibilities assessment of the repair and restoration units for the evacuation of damaged AWME samples;

 selection of criteria for assessing the technological efficiency of methods of recovery of AWME;

 forecasting of volumes of tasks that are assigned to repair and recovery units during operation (military operations);

 justification of logistic support of military-technical property;

 visualization of information for the decision maker and formation of initial information in the users desired format.

The main idea of creating the system is proposed to consider its functioning in real time, processing of incoming and outgoing information in interactive mode, operational and optimal management of information flows and visualization of solutions for the recovery of weapons and military equipment.

For this purpose, the information space, the system resources will be located, is proposed to be built using the "electronic cloud" technology.

The ability of "connecting" to this cloud will have machine commanders via GPS communication, drones automated technical intelligence and external users.

Thus, according to the functional purpose we define software-calculation, reference, input / output information and control modules. It is proposed to introduce the following modules (Fig. 1):

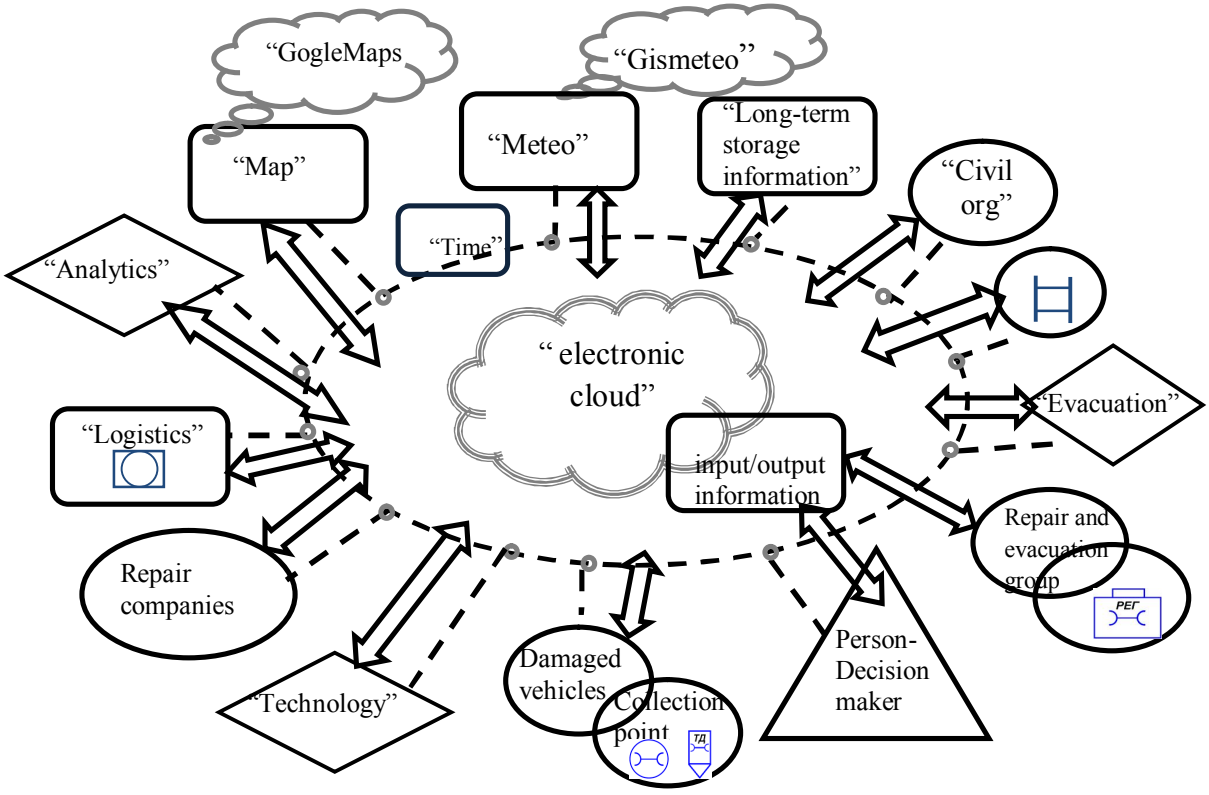


Fig. 1. Structural and functional diagram of the "Virtual Headquarters" decision support system

– input/output of information: data exchange with technical assistance points and collection of damaged vehicles; communication with relevant civil organizations;

– reference modules: meteorological conditions "Meteo"; terrain maps "Map" and long-term storage information "Technique";

– software and calculating modules: "Evacuation", "Technology", "Analytics", "Logistics", the interaction of which will allow in real time to form solutions for the recovery of AWME, to determine the optimal mode of recovery of a sample of equipment with priority from urgent to regular, as well as for the operational solution of the problems of protection of the AWME.

– control module "time", which performs chronometric control of the automated system. On signals of this module it is offered to carry out interactive processing of information streams on time, visualization of information for the person making decisions and formation of initial information for users in the necessary format.

Modules of input/output and primary information processing. According to the results of the analysis of input information, it is proposed to determine the optimal evacuation strategy, the feasibility of towing, transportation or withdrawal of vehicles that have failed in the nearest shelters, on the evacuation route, in places of repair (restoration of combat capability) or shipment, loading them on vehicles, as well as in pulling stuck, filled up, sunken and lifting overturned vehicles with the necessary preparatory work.

Namely:

data to determine:

the location;

the state of equipment to be evacuated;

the amount of preparatory work and types of jams**.**

We'd like to notice the input information is heterogeneous in nature of the measurement values, the form of representation (discrete, analog, binary). Analysis and processing of input information from the entire number of sources must be carried out simultaneously, so to improve the efficiency of this process, it is proposed to use the mathematical apparatus of probability theory and operations research.

The mathematical implementation of this process is proposed to be carried out in a special module for processing input information. The operation of this module is proposed by information exchange protocols and "survey" cards contain data on the equipment to be evacuated.

Namely:

– data to determine the location of

– state of equipment to be evacuated,

– volume of preparatory works,

– types of jams.

The commander of the unit repair and recovery groups, in turn, will have information regarding the towing, transportation or machines that have failed in the nearest shelter, to escape routes, places of repair (restoration of combat capability) or shipment, loading them on vehicle, as well as in pulling stuck, buried, sunken and lifting overturned cars with the necessary preparatory work.

Of course, a necessary condition for the implementation of the proposed idea is the re-equipment of technical intelligence groups and unit repair and recovery groups, with the latest multimedia technology and communications, which is natural in the period of Informatization and computerization of society; it is also possible to use UAVs.

It is assumed that the output information, depending on user requests, can be formed in both text and graphic format at different time intervals. To do this, a special module has been introduced into the system, in which, with the help of interaction with reference and software-calculation modules of the system, information is visualized for the decision-maker and the formation of initial information for users in the desired format.

Reference modules are proposed to be introduced for the organization of access to databases of typical faults and/or jams and suggestions for solving the identified problems.

The authors assume that the modules of meteorological conditions **"Meteo"** and maps of the area **"Map"** will use the resources of known mapping services and technologies, but with the use of cashing procedures and MIP-mapping [19].

Cash copies of map messages of different scaling levels are stored in the "Map" module and are used by control signals when there is a request for visualization of map service information.

In this process, improving the image quality of map sheets with different levels of detail is carried out by using textures with different resolutions for different objects of the same image, depending on their size and depth.

Software and calculation modules. The search for optimal solutions for the displacement AWME and the use of the units of technical support, including their composition and equipment is resolved in software calculation module **"Evacuation".** The proposed definition of the topological structure (the number of MR agencies and their location) and functional structure (division into levels of tasks in MR system, MR kits, the calculation of the optimal leverage, in which the costs of displacement AWME, and the entire scope of work in MR would be completed on schedule, which is possible with the use of GIS technology module ("Map").

Assessment of the capabilities of repair and recoverystoration units for the evacuation of damaged AWME samples will be solved in the module **"Analytics"** by calculating the ratio of the number of damaged AWME samples, requiring evacuation, means of each repair and recovery unit to the actual number of evacuated ones.

The calculation model includes several stages: the first: the length of the evacuation route is calculated when using the type of evacuation means that it is advisable to have for the evacuation of the number of AWME samples; second – is determined by the ratio of the length of the escape route for the kind of emergency

funds to the amount of escape routes in all types of emergency vehicles; the third stage is the calculation of the length of the escape route for the types of evacuation vehicles in the evacuation part of the combined evacuation groups.

The input data for the evaluation of the implementation of measures on evacuation are: the speed of a type of emergency vehicles in movement to the location of the damaged AWME samples; the speed of the evacuation (transportation) of the damaged sample by evacuation means; number of emergency funds, the loss coefficient of time in the process of evacuation, time of evacuation means; the total length of the escape route [20].

The choice of a rational recovery method of details, technology of recovery in field conditions, taking into account technological and economic features of the concrete repair enterprise of Ministry of Defence of Ukraine is supposed to be realized through definition of criterion of technological efficiency of a recovery method of accessories in the module "Technology".

The effectiveness of a particular recovery method is proposed to be determined by optimizing the criterion of technological efficiency by the method of weight functions or by the method of compromises for a particular repair unit.

The essence of the method of weight functions is that each indicator that affects the final result of the solution is assigned a "weight" value.

The criterion of efficiency in this case is a function of the weight indicators of the methods for each of the options.

The variant with the extreme value of the criterion will be optimal [12, 21].

In the module **"Logistics"** the authors consider the realizing of the method determine the choice of optimal variant of forces and means of repair and recovery units distribution on topological field repair and recovery AWME samples the criterion of the most effective from the point of view of costs minimization distribution between the points of repair of military equipment and other material resources necessary for remediation. This problem is formulated as a classical distribution problem of transport type, the solution of which is proposed to be carried out by using the known mathematical apparatus of linear programming. During the calculations, the transport costs of the distribution of military-technical property and other material assets, the dimensions of the topological field and the coordinates of the repair points of AWME samples are considered known [22].

Conclusions and prospects for further research

1. Today, not only the process of positioning forces and means of technical support and their rational placement relative to military units, but also rapid response to changes in the technical situation is complicated.

2. Improving the quality of the weapons and military equipment recovery system is possible with a combination of scientific methods and the latest information technologies for calculations and justification of the decision under the interactive analysis of temporal and spatial indicators of warfare by creating a decision support system "Virtual headquarters".

3. DSS "Virtual headquarters" will increase the efficiency of solving such problems in the recovery AWME as collection and primary data processing for the evacuation of damaged AWME samples, evaluation of repair and recovery units opportunities, technological efficiency of AWME recovery methods; forecasting volumes of tasks assigned to the repair and recovery units during the operation (combat actions); support logistics for the military-technical property; visualization of information for decision-makers and the formation of the source of information for users in the desired format.

4. The main idea of creating the system is the processing of incoming and outgoing information in interactive mode, operational and optimal management of information flows and visualization of the solution for the recovery of weapons and military equipment.

5. The proposed modular system architecture provides a list of external, design and management modules; the scope and format of input and output information for every business unit and information system buses. The information space, where the system resources will be located, is proposed to be built using the "electronic cloud" technology.

6. The creating of the DSS involves the work of a team includes specialists from various industries: IT-specialists will develop exchange protocols, military management specialists – information exchange procedures, etc. Futher authors plan to carry out the development of functional links and structural interaction between the elements of the system, as well as the protection of information flows.

Forecasting the volume of tasks that are assigned to the repair and recovery units during the execution of tasks for their intended purpose is possible with the help of the mathematical apparatus of the theory of Queuing.

REFERENCES

1. Shynkarenko, Yu.M., Chernykh, I.V. and Tkachenko, A.A (2011), "Determining directions for improving the efficiency of restoration of engineering equipment in combat and operations", *Trudy universytetu*, vol. 7, no. 106, pp. 233-236.
2. Ovcharenko, I.V. (2012), "A methodological approach to identifying capabilities of technical intelligence bodies in the course of a defensive battle", *Trudy universytetu*, vol. 1, no. 107, pp. 109-113.
3. Chornyy, M.V. and Dolgov, R.V. (2011), "Assessment of the problem of decision making on technical support of military formation", *Viyskovo-tekhnichnyy zbirnyk*, vol. 5, pp. 145-148.
4. Kuchuk G., Kovalenko A., Komari I.E., Svyrydov A., Kharchenko V. (2019), "Improving big data centers energy efficiency: Traffic based model and method", *Studies in Systems, Decision and Control*, vol 171. Kharchenko, V., Kondratenko, Y., Kacprzyk, J. (Eds.). Springer Nature Switzerland AG, Pp. 161-183. DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-00253-4_8

5. Svyrydov, A., Kuchuk, H., Tsiapa, O. (2018), "Improving efficienty 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, DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409201
6. Ruban, I., Kuchuk, H., Kovalenko, A. (2017) "Redistribution of base stations load in mobile communication networks", *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No 1 (1), P. 75-81. DOI : https://doi.org/10.30837/2522-9818.2017.1.075.
7. 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*, Zilina, P. 266-271. DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DT.2015.7222982
8. Merlac V., Smatkov S, Kuchuk N, Nechausov A. (2018) "Resourses Distribution Method of University e-learning on the Hypercovergent platform", *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. – DOI: http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT.2018.8409114
9. Yaloveha, V., Hlavcheva, D., Podorozhniak, A. and Kuchuk, H. (2019), "Fire hazard research of forest areas based on the use of convolutional and capsule neural networks", *IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2019 – Proceedings*, DOI: http://doi.org/10.1109/UKRCON.2019.8879867
10. Kuchuk, H., Kovalenko, A., Ibrahim, B.F. and Ruban, I. (2019), "Adaptive compression method for video information", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, pp. 66-69, DOI: http://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/1181.22019
11. Kuchuk, N., Mohammed, A. S., Shyshatskyi, A. and Nalapko, O. (2019), "The method of improving the efficiency of routes selection in networks of connection with the possibility of self-organization", *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 8(1), pp. 1–6, DOI: https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/0181.22019
12. Gulyaev, A.V. (2010), "The choice of criteria for assessing the technological efficiency of recovery methods of armored weapons and military equipment", *Systemy ozbroyennya i viyskova tekhnika*, vol. 4, no. 24, pp. 36-39.
13. Chornyy, M.V. and Dolgov, R.V. (2014), "Positioning of evacuation (repair-evacuation) bodies of military formation on the ground", *Systemy ozbroyennya i viyskova tekhnika*, vol. 1, no. 37, pp.88-92.
14. Sytnyk, V.F. (2004), *Decision Support Systems*, Tutorial tool, KNEU, Kyiv, UA, 614 p.
15. Kovalenko, A. and Kuchuk H. (2018), "Methods for synthesis of informational and technical structures of critical application object's control system", *Advanced Information Systems*, 2018, Vol. 2, No. 1, pp. 22–27, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04
16. Sviridov, A., Kovalenko, A. and Kuchuk, H. (2018), "The pass-through capacity redevelopment method of net critical section based on improvement ON/OFF models of traffic", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2, pp. 139–144, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.24
17. Kuchuk G.A., Mohammad A.S. and Kovalenko, A.A. (2011), "The parametric data transmission control method for modifying the transport protocols of wireless networks ", *Information Processing Systems*, No. 8 (98), pp. 211-218.
18. Kuchuk G.A., Mohammad A.S. and Kovalenko, A.A. (2011), "Method for reducing data transmission time in a wireless network", *Control, navigation and communication systems*, No. 3 (19), pp. 209-213.
19. Khabrov, M. (2002), *Creating detailed textures using mip-map levels in Direct3D8*, available at: http://GameDev.ru
20. Kovalenko, O.A. (2016), "Assessment of the capabilities of repair and restoration bodies for the evacuation of damaged weapons and military equipment", *Suchasni informatsiyni tekhnolohiyi u sferi bezpeky ta oborony*, vol. 1, pp. 55-58.
21. Tretyakov, A.M., Kravchenko, I.N. and Erofeev, M.N. (2002), "A mathematical model for optimizing the selection of the technological process of restoring worn parts of construction and road machines", *Stroitelnyye i dorozhnyye mashiny*, vol. 11, pp. 26-29.
22. Zykov, I.S., Kuchuk, N.H. and Shmatkov S.I. (2018), "Synthesis of architecture of the computer transaction management system e-learning", *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 3, pp. 60-66, DOI: https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.10
23. Makogon, O.A., Prichina, V.P., Sopitko, O.V., Lagunov, O.V. and Chornobay, V.M. (2019), "Expanding the capabilities of moving repair and rehabilitation bodies by applying a logistical approach to logistical support for the repair and recovery of weapons and military equipment", *Joint actions of military formations and law enforcement agencies of the state: problems and prospects*, Odesa, UA, 12-13 September 2019, p. 205.

Received (Надійшла) 30.09.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 06.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Копашинський Сергій Анатолійович – начальник кафедри технічного забезпечення інституту оперативного забезпечення та логістики, Національний університет обоони України імені Івана Черняховського , Київ, Україна;
Serhiy Kopashynskii – Head of Technical Security Institute of Operational Security and Logistics Department, National Defense University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine;
e-mail: kopashinskyas@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0117-0664

Серпухов Олександр Васильович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник інституту, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "ХПІ", Харків, Україна;
Oleksandr Serpukhov – Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Head of Institute, Military Institute of Tank Troops of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: serpuhov1960@gmail.com; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5029-1016

Макогон Олена Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри бронетанкового озброєння та військової техніки, Військовий інститут танкових військ Національного технічного університету "ХПІ", Харків, Україна;
Helen Makogon – Candidate of Technical Sciences**,** Associate Professor of the Armored vehicles and military equipment Department, Military Institute of Tank Troops of National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: helmkg@ukr.net; ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1112-8707

Застосування технології "електронної хмари" для вдосконалення функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння і техніки

С. А. Копашинський, О. В. Серпухов, О. А. Макогон

Анотація. **Предметом** вивчення в статті є процес функціонування системи відновлення бронетанкового озброєння і техніки при виконанні завдань за призначенням в сучасних умовах. **Метою дослідження** є створення системи підтримки прийняття рішення з відновлення бронетанкового озброєння і техніки в умовах інтерактивного аналізу часово-просторових показників ведення бойових дій на основі використання технології "електронної хмари". **Задачі:** Формулювання завдань, ефективність вирішення яких підвищиться у системі підтримки прийняття рішення; розробка структурної та функціонально-логічної схеми системи, переліку зовнішніх, розрахункових та управляючих модулів; визначення обсягу та формату вхідної та вихідної інформації для кожної структурної одиниці та інформаційних шин системи; формування протоколів обміну інформацією, змісту "опитувальних" карток. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні **методи** наукового пізнання. на основі системного аналізу існуючої системи відновлення бронетанкового озброєння і техніки були визначені основні умови і чинники, які впливають на її функціонування в сучасних збройних конфліктах. Отримані такі **результати**. Було здійснено синтез структурно-логічної схеми системи підтримки прийняття рішення "віртуальний штаб" у вигляді програмного забезпечення з модульною архітектурою. **Висновки.** Сьогодні ускладнюється не тільки процес позиціонування сил і засобів технічного забезпечення та їх раціонального розміщення відносно військових підрозділів, а і оперативного реагування на зміну технічної обстановки. Підвищення якості функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки можливо за рахунок створення системи підтримки прийняття рішення "Віртуальний штаб". Провідною ідеєю створення системи є обробка вхідної та вихідної інформації в інтерактивному режимі, оперативне і оптимальне управління інформаційними потоками та візуалізація рішення по відновленню озброєння та військової техніки. Запропонована модульна архітектура системи, визначений перелік зовнішніх, розрахункових та управляючих модулів; обсяг і формат вхідної та вихідної інформації для кожної структурної одиниці та інформаційних шин системи. Інформаційний простір, де будуть знаходитися ресурси системи, пропонується побудувати за технологією "електронної хмари".

Ключові слова: відновлення бронетанкового озброєння і техніки; система підтримки прийняття рішення; віртуальний штаб; електронна хмара.

Применение технологии "электронного облака" для совершенствования функционирования системы восстановления бронетанкового вооружения и техники

С. А. Копашинский, А. В. Серпухов, Е.А. Макогон

Аннотация. Предметом изучения в статье является процесс функционирования системы восстановления бронетанкового вооружения и техники при выполнении задач по назначению в современных условиях. **Целью исследования** является создание системы поддержки принятия решения по восстановлению бронетанкового вооружения и техники в условиях интерактивного анализа временно-пространственных показателей ведения боевых действий на основе использования технологии "электронного облака". **Задачи:** формулировка заданий, эффективность решения которых повысится в системе поддержки принятия решения; разработка структурной и функционально-логической схемы системы, перечня внешних, расчетных и управляющих модулей; определение объема и формата входной и выходной информации для каждой структурной единицы и информационным шинам системы; формирование протоколов обмена информацией, содержания "опросных" карточек. Методологической основой исследования стали общенаучные и специальные **методы** научного познания. на основе системного анализа существующей системы восстановления бронетанкового вооружения и техники были определены основные условия и факторы, которые влияют на ее функционирование в современных вооруженных конфликтах. Получены такие **результаты**. Был осуществлен синтез структурно-логической схемы системы поддержки принятия решения "виртуальный штаб" в виде программного обеспечения с модульной архитектурой. **Выводы.** Сегодня осложняется не только процесс позиционирования сил и средств технического обеспечения и их рационального размещения относительно военных подразделений, а и оперативного реагирования на изменение технической обстановки. Повышение качества функционирования системы восстановления вооружения и военной техники возможно за счет создания системы поддержки принятия решения "Виртуальный штаб". Ведущей идеей создания системы является обработка входящей и исходящей информации в интерактивном режиме, оперативное и оптимальное управление информационными потоками и визуализация решения по восстановлению вооружения и военной техники. Предложена модульная архитектура системы, определен перечень внешних, расчетных и управляющих модулей; объем и формат входной и выходной информации для каждой структурной единицы и информационным шинам системы. Информационное пространство, где будут находиться ресурсы системы, предлагается построить по технологии "электронного облака".

Ключевые слова: восстановление бронетанкового вооружения и техники; система поддержки принятия решения; виртуальный штаб; электронное облако.

UDC 621.3 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.20**

V. Kravchenko, V. Knyazev, A. Serkov, V. Breslavets, I. Yakovenko

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF SEMICONDUCTOR STRUCTURES WITH A TWO-DIMENSIONAL ELECTRON LAYER

Abstract. The **subject matter** is the mechanisms of interaction of the flow of charged particles with the surface plasmons of a two-dimensional electron layer (2D) due to the action of external pulsed electromagnetic radiation (EMP). The **aim** is obtaining design relations that determine to what degree the instabilities of natural vibrations of a two-dimensional electronic layer of a semiconductor structure may influence the performance of semiconductor devices. The o**bjectives** are **a** model of occurrence of reversible failures of radio products arising from the transformation of energy of currents induced by external pulsed radiation to excite electrostatic oscillations of a two-dimensional electronic layer of semiconductor structures. The **methods** used are analytical methods for solving electrodynamics (Maxwell) equations and material equations in the framework of kinetic approach. The following **results** have been obtained: The mechanisms of interaction of the flow of charged particles with the natural electromagnetic vibrations of a two-dimensional electron gas occurring due to the presence of a potential barrier at the interface have been studied. Investigations of functioning of semiconductor components of radio products (structures with two-dimensional electron gas) under the influence of strong pulsed electromagnetic fields have been carried out. A kinetic equation describing the change in the number of electromagnetic oscillations of such a system has been obtained. The solution of the equation has been found, which allows determining the influence of the barrier on the instability increment of surface vibrations as well as the contributions of the transmitted and reflected components of the particle flux to the increment. Equations for the increment of instabilities allow us to determine the energy loss of the induced currents on the excitation of natural oscillations i.e. the emergence of a mode of oscillation generation, which is characterized by a change in the volt-ampere characteristics of radio devices. **Conclusion.** A comparative analysis of the instabilities of vibrations of structures with a two-dimensional electron gas has been carried out under conditions when the interaction of waves and particles is random and deterministic. It is shown that the differences in the expressions for increments are associated with a change in the size of the region of interaction of waves and particles. Differences in the influence of the potential barrier on the increment are established in cases where the interaction of surface plasmons and charged particles is determined or has the character of random collisions. The mechanisms of the influence of the boundary on the interaction of surface electromagnetic waves and electrons in the presence of a potential barrier are determined. Intrinsic electromagnetic oscillations of a two-dimensional electron layer are taken as research objects. The results obtained in the work can be used to assess the operability of electronic equipment in millimeter and submillimeter ranges under the influence of pulsed electromagnetic fields.

Keywords: electromagnetic fields; vibrations; semiconductor; kinetic instabilities; potential barrier; flow of charged particles; generation; radiation energy.

Introduction

One of the tasks of electromagnetic compatibility is to determine the mechanisms of occurrence and development of temporary loss of operability of electrical radio devices in the presence of external electromagnetic radiation (reversible failures). The current paper belongs to this field of research. It studies how the flow of charged particles induced by external electromagnetic radiation interacts with the natural vibrations of the semiconductor structure constituting a radio device (surface plasmons of the two-dimensional electron layer (2D)). A solution to this problem allows us to determine the temporal characteristics of the oscillation generation mode (instability increment), i.e. radiation energy.

Switching to the generation mode leads to a distortion of the current-voltage characteristics of the devices (appearance of sections with negative resistance). Thus, the results of this work can be used to quantify the degree the operating characteristics of electronic equipment for millimeter and submillimeter ranges may deviate from the norm under the influence of pulsed electromagnetic fields.

The work considered the mechanisms of interaction of charged particles with surface plasmons of a two-dimensional electron layer (2D), based on the description of the properties of plasmons with the help of kinetic equations. When considering the interaction between electromagnetic waves and charged particles, in addition to the probabilistic approach (kinetic equations), another technique is also used to determine the relationship between the electromagnetic fields of surface vibrations and the wave functions of the flux electrons at the boundary. That technique uses Schrödinger equation and additional (compared to electrodynamic equations) boundary conditions for the perturbed wave functions of the beam electrons. In this case, the amplitudes and phases of the perturbed wave functions of an electron are determined by the already existing amplitude and phase of the plasmon, so the interactions between waves and particles are deterministic. The conditions for the wave functions make it possible to determine the influence the boundary (in particular, the presence of a potential barrier) may have on the magnitude of the instability increment. In the framework of this model, we have studied the mechanisms of excitation of surface plasmons and have developed the equations for the increments of their instability.

We take into account the influence the potential barrier may have not only on the behavior of charged particles of the flow crossing the boundary, but also on the spectral characteristics of electrons of plasma-like

structures. These include, in particular, structures in which the presence of a potential leads to the occurrence of a two-dimensional (2D) electron gas. The interest in two-dimensional systems associated with their unique properties [1] (quantum Hall effect, features of phase transitions) has recently intensified with the advent of the new technologies for creating nanostructures that are promising for solid-state radiophysics [1-3].

Task solution

Consider the interaction between plasma oscillations of a two-dimensional electron gas and a stream of charged particles that moves along the normal to the interface [4].

Let there be an infinitely thin layer of electrons at the boundary of two media with different electromagnetic properties. We will describe the behavior of electrons with Schrödinger equation:

$$\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi_k + \left[\varepsilon_k - V_0\delta(y)\right]\Psi_k = 0, \qquad (1)$$

where $U(y) = -V_0\delta(y)$ is the potential barrier, ε_k - the particle energy; m_e - the effective mass.

To find their spectrum, let us represent the particle wave function Ψ_k in areas $y<0$ and $y>0$ in the following way:

$$\Psi_{1,2} = B_{1,2k}\exp\left(\pm\chi y + i(k_x x + k_z z - \varepsilon_k t/\hbar\right), \qquad (2)$$

where k_x, k_z are the components of the wave vector in the direction parallel to the interface;

$$\chi = \left[k_x^2 + {}_z^2 - (2m/\hbar^2)\varepsilon_k\right]^{1/2} > 0.$$

At the interface $y=0$, the condition of the equality of the wave functions is satisfied, and the derivatives of the wave functions are discontinuous:

$$\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial\Psi_{1k}(0)}{\partial y} - \frac{\partial\Psi_{2k}(0)}{\partial y}\right) = -U_0\Psi_{1k}(0); \qquad (3)$$
$$\Psi_{1k}(0) = \Psi_{2k}(0).$$

This implies that $\hbar^2\chi/m_e = V_0$.

The wave function is normalized so that $\sum_{k=-\infty}^{\infty}\Psi_k^*\Psi_k = N_0\exp(-2\chi|y|)$; N_0 is the particle density. The frequency of plasma oscillations of 2D electrons is equal to

$$\omega_s^2 = \frac{4\pi e^2 N_0 d|q_x|}{m_e(\varepsilon_1+\varepsilon_2)}; \quad d = \frac{1}{\chi}; \quad |q_x|d << 1. \qquad (4)$$

Assuming that $\varepsilon_i = \varepsilon_{0i} - \omega_{0i}^2/\omega^2$, the frequency of surface plasma oscillations has the form

$$\omega_s = \Omega_s/\sqrt{\varepsilon_1+\varepsilon_2}; \quad \Omega_s = \sqrt{\omega_{01}^2+\omega_{02}^2+\omega_0^2 d|q_x|}; \qquad (5)$$
$$\omega_0^2 = 4\pi e^2 N_0/m_e.$$

After the standard procedure of quantization of the energy of the electromagnetic field of surface plasmons, we obtain the expression for the operator of the vector potential:

$$\hat{\vec{A}}_\alpha(\vec{r},t) = \sum_{q=-\infty}^{\infty}\begin{pmatrix}\sqrt{4\pi\hbar c/\left(V\omega_s(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\right)}\times\\ \times e_l\exp(i\vec{q}_l\vec{r})(\hat{a}_{\vec{q}}(t)+\hat{a}^+_{-\vec{q}}(t))\end{pmatrix}, \qquad (6)$$

where $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ do not have frequency dispersion

Suppose further that an external stream of charged particles (electrons) passes (is injected) through the layer. To find the matrix elements of the Hamiltonian of the interaction of plasmons with this flow, we use the following expression:

$$\hat{H}^{\text{int}} = -\int\hat{j}(\vec{r},t)\cdot\hat{\vec{A}}(\vec{r},t)d\vec{r}/c, \qquad (7)$$

where $\hat{j} = e\hbar/(2im)\sum_{\rho=1}^{3}\left(\hat{\Psi}\hat{\Psi}_\rho^+\vec{\nabla}\hat{\Psi}_\rho - \vec{\nabla}\hat{\Psi}_\rho^+\hat{\Psi}_\rho\right)$ is the density operator of the total electron current (including incident ($\rho=1$), reflected ($\rho=3$) and past ($\rho=2$) currents; m is effective mass of the injected electron. Here, the wave function operators have the form:

$$\begin{aligned}\hat{\Psi}_1 &= \sum_k e^{ik}y^y\hat{\Psi}_k(x,z,t);\\ \hat{\Psi}_2 &= \sum_k \alpha_k e^{-ik_y}y^y\hat{\Psi}_k(x,z,t);\\ \hat{\Psi}_3 &= \sum_k \beta_k e^{ik}y^y\hat{\Psi}_k(x,z,t);\\ \hat{\Psi}_k(x,z,t) &= \left(\hat{b}_k(t)/\sqrt{V}\right)\cdot e^{i(k_x x+k_z z)};\end{aligned} \qquad (8)$$

$\hat{b}_k^+(t) = \hat{b}_k^+(0)\exp(i(\varepsilon_h/\hbar)t$ and $\hat{b}_k(t) = \hat{b}_k(0)\exp(-i(\varepsilon_h/\hbar)t$ are electron creation and annihilation operators while V is the system volume. The electron dispersion law is assumed quadratic: $E_k = \hbar^2\left(k_x^2+k_y^2+k_z^2\right)/(2m_0)$. Coefficients α_k and β_k are found from the boundary conditions for the functions $\hat{\Psi}_{1,2,3}$ and have the form:

$$\alpha_k = \frac{i\hbar^2 k_y}{m\ U_0 + i\hbar^2 k_y}; \quad \beta_k = \frac{-m\ V_0}{m\ V_0 + i\hbar^2 k_y}; \quad . \qquad (9)$$

The operator of the energy of interaction of particles with plasmons is written:

$$\hat{H}^{\text{int}} = \sum_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}} W^{(p)}_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}}\hat{b}^+_{\vec{k}'}(\hat{a}_{\vec{q}}(t)+\hat{a}^+_{-\vec{q}}(t))\hat{b}_{\vec{k}}(t),$$

where $W_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}}$ - the matrix element of the interaction Hamiltonian is determined by the expressions:

$$W^{(1)}_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}} = F\frac{k_y'+k_y+i(k_x'+k_x)}{k_y'-k_y+i|q_x|}, \qquad (10)$$

$$W^{(2)}_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}} = F\frac{k_y'+k_y-i(k_x'+k_x)}{k_y'-k_y-i|q_x|}\alpha^*_{k'}\alpha_k, \qquad (11)$$

$$W^{(3)}_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}} = F\frac{k_y'+k_y-i(k_x'+k_x)}{k_y'-k_y-i|q_x|}\beta^*_{k'}\beta_k, \qquad (12)$$

$$F = \frac{e}{m\ V}\sqrt{\pi|q_x|\hbar^3/\left(2\omega_q(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\right)}$$

The kinetic equation takes the form:

$$\frac{\partial N_q}{\partial t}=\frac{2\pi}{\hbar}\sum_{\vec{k}'\vec{k}}\left|W_{\vec{k}'\vec{q}\vec{k}}\right|^2\left((N_{\vec{q}}+1)n_{\vec{k}}^{(p)}\left(1-n_{\vec{k}'}^{(p)}\right)-\right.$$
$$\left.-N_{\vec{q}}n_{\vec{k}'}^{(p)}\left(1-n_{\vec{k}}^{(p)}\right)\right)\times\delta\left(E_{\vec{k}'}-E_{\vec{k}}-\hbar\omega_{\vec{q}}\right). \quad (13)$$

Assuming that the particle distribution is described by the expression

$$n_{\vec{k}}^{(p)}=(2\pi)^3 n_p\delta(k_x)\delta(k_y-k_p)\delta(k_z)$$

where $n_2=\left|\alpha_k\right|^2 n_1;\ n_3=\left|\beta_k\right|^2 n_1;\ k_1=k_2=k_0;\ k_3=-k_0$ and given the inequality $\hbar^2k_0^2/2>>\hbar\omega_q$, we get the following expression for the increment $\gamma=\frac{\partial N_q}{N_q\partial t}$ surface plasmons in a 2D electron gas:

$$\gamma=\frac{\partial N_q}{N_q\partial t}=\frac{\omega_b^2\left|q_x\right|v_0}{2\Omega_s}(1+R^3+D^3), \quad (14)$$

where $R=\left|\beta_k\right|^2$ is the barrier reflection coefficient for a particle and $D=\left|\alpha_k\right|^2$ is the barrier transmission coefficient for a particle. If we substitute the values R,D with k_0,χ in equation (14) and introduce the notation $\chi^2/k_0^2=\eta$, we get $\gamma=\left(\omega_b^2\left|q_x\right|v_0/\Omega_s\right)\cdot Z$ where $Z=1-3/2\cdot\eta^2/(1+\eta)^4$. At the same time, from the equation (6) (where $\chi=2m_eU_0a/\hbar^2$), follows that $\gamma=\left(\omega_b^2\left|q_x\right|v_0/\Omega_s\right)\cdot Y$ where $Y=1/(1+\eta)$

Analysis

Thus, the potential barrier manifests itself in a completely different way in cases where the process of interaction of plasmons and electrons is deterministic or has the character of random collisions.

At $\eta=0$ the increments are the same: $Z=Y=1$. Further, with growth of η, function Y decreases and becomes zero with $\eta\to\infty$. Function Z passes through a minimum at $\eta=1$, and at $\eta\to\infty$ it turns into a unit, i.e. it turns out to be less sensitive to the potential barrier. When finding instability increments from kinetic equations in conditions $k_0^2>>\omega^2/v_0^2$, we considered only "forward" electron scattering at the surface plasmon potential relative to the particle motion direction and neglected the "backward" scattering. Let us compare the magnitude of the matrix elements for these processes using equation (10).

Consider the factor

$$C=\left(k_y'+k_y+i(k_x'+k_x)\right)/\left(k_y'-k_y+i\left|q_x\right|\right)$$

at F in equation (12). Let us assume that $k_y=k_0,\ k_x=0,\ k_x'=q_x$. The wave vector k_y' of an electron scattered forward is equal to $k_y'=k_0\pm\omega/v_0$. Then we have: $\left|C_1\right|^2=4k_0^2v_0^2/\omega^2$, as $q_x^2<<\omega^2/v_0^2$; $k_0^2>>q_x^2$. The wave vector of an electron scattered backward is $k_y'=-\left(k_0\pm\omega/v_0\right)$. In this case, we obtain $\left|C_2\right|^2=\omega^2/\left(4k_0^2v_0^2\right)$. It is clear that

$$\left|C_2/C_1\right|^2=\omega^4/\left(16k_0^4v_0^4\right)<<1. \quad (15)$$

In conclusion, we note that if the kinetic energy of an electron is less than the energy of a surface plasmon, then there is a process of absorption of energy of surface vibrations. Let us estimate the decrement of plasmons during their interaction with the monoenergetic flow of charged particles, using equations (8), (9) and neglecting the influence of the potential barrier at the interface. Then the kinetic equation for plasmons has the form:

$$\frac{\partial N_q}{\partial t}=\frac{2\pi}{\hbar}N_qn_0\sum_{k_y}|W|^2\delta\left(E_{k'}-\hbar^2k_0^2/(2m)-\hbar\omega_s\right). \quad (16)$$

Here, the matrix element $|W|=\left|W_{k_0\vec{q}\vec{k}}\right|^{(1)}+\left|W_{k_0\vec{q}\vec{k}}\right|^{(2)}$ can be set equal to $2F$, since the wave vector of a scattered electron $k_y'=\pm k_+$ is the largest term in the equation (16). Substituting the value $|W|^2$ in (16) and replacing the summation with integration, we get the following decrement:

$$\gamma=-\omega_b^2\left|q_x\right|/\left(\omega_sk_+(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\right), \quad (17)$$

where $k_+=\sqrt{k_0^2+2m\omega_s/\hbar}$.

It can be seen that with growth of k_0, the absolute value of the decrement also decreases and turns to zero approaching a certain threshold value $k_0^2>2m\omega_s/\hbar$. Further increase of k_0 changes the sign of γ and the increment at $k_0^2>>2m\omega_s/\hbar$ takes on the following form: $\gamma\approx\omega_b^2\left|q_x\right|v_0/\Omega_s$.

For the development of instability, it is necessary that γ exceed the attenuation of plasmons since the electrons may scatter on various objects (impurities, phonons, etc.) The attenuation of plasmons caused by these processes equals to $\nu/2$ where ν is the highest characteristic electron pulse relaxation frequency. In addition, it is necessary that the mean free path of electrons in the flow exceed the penetration depth of the surface plasmon.

The numerical estimates for the heterostructure $Al_xGa_{1-x}As-GaAs-Al_xGa_{1-x}As$ with a two-dimensional electron gas at the interface at $k_0^2>>2m\omega_s/\hbar$ are as follows: At $\Omega_s=10^{12}s^{-1}$, $d\sim2\cdot10^{-7}cm$ $q_x\approx10^5cm, v_0\sim10^7cm, \omega_b^2/\Omega_s^2\approx0{,}1$

the increment reaches the value of $0.1\Omega_s$, which is greater than $\nu \le 10^{11}s^{-1}$.

Conclusions

1. We have studied the mechanisms of interaction between a flow of charged particles and natural electromagnetic oscillations of a two-dimensional electron gas, occurring due to the presence of a potential barrier at the interface. As a result, we have obtained a kinetic equation that describes the change in the number of electromagnetic oscillations of such system; we also provide an equation for the increment of the instability of the oscillations.

2. A kinetic equation have been also obtained that describes the change in the number of surface plasmons during their interaction with the flow of charged particles crossing the interface between the media having inhomogeneous potentials. We have provided a solution for the equation, which allows determining the influence the barrier may have on the instability increment of surface vibrations as well as the contribution to the increment resulted from the transmitted and reflected components of the particle flux.

3. We have determined the mechanisms through which the boundary influences the interaction of surface electromagnetic waves and electrons in the presence of a potential barrier. We used surface plasmons and intrinsic electromagnetic oscillations of a two-dimensional electron layer as research objects.

4. We also present a comparative analysis of the instabilities of these types of oscillations in conditions where the interaction of waves and particles is random or deterministic. It is shown that the differences in the expressions for increments are associated with a change in the size of the region of wave-particle interaction. Differences in the effect of the potential barrier on the increment are established in cases where the process of interaction between surface plasmons and charged particles is deterministic or has the character of random collisions.

References

1. Averkov, Yu.O. and Yakovenko, V.M. (2009), “Transitional 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 semi-bounded 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 exactions in semi-bounded solids by a non-relativistic 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), “The influence of semiconductor components of electrical radio equipment”, *News of 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 of surface plasmons with flows of charged particles passing through the boundary”, *ZhTF*, vol. 80, No. 4, pp. 120-125.
6. Khankina, S.I., Yakovenko, V.M. and Yakovenko, I.V. (2011), “Electronic states on an uneven surface of a solid body”, *PNT*, vol. 37, No. 11, pp. 1148-1155.
7. Kravchenko, V.I., Korobko, A.I. and Yakovenko I.V. (2014), “The influence of external electromagnetic factors on the waveguide characteristics of semiconductor components of radioelectronic equipment”, *Bulletin of NTU “KhPI"*, No. 21, pp. 79-84.
8. Kravchenko, V.I. and Yakovenko, I.V. (2014), “Failure mechanisms of semiconductor components of radio electronic components under the influence of external electromagnetic radiation”, *Bulletin of NTU “KhPI"*, No. 21, pp. 84-88.

Received (Надійшла) 17.09.2019
Accepted for publication (Прийнята до друку) 30.10.2019

Відомості про авторів / About the Authors

Кравченко Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник, науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут «Молнія», Національний технічний університет "ХПІ", Харків, Україна;
Volodymyr Kravchenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, Lead Researcher, Research and Design Institute “Molniya”, National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: kw47@mail.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-8701-6774

Князєв Володимир Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник НДВ «Електромагнітна сумісність та безпека», НДПКІ «Молнія», Національний технічний університет "ХПІ", Харків, Україна;
Volodymyr Knyazev – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Scientific and Technical Information “Electromagnetic compatibility and safety” RDI “Molniya”, National Technical University "KhPI", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: knyzevvv@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-7119-7790

Серков Олександр Анатолійович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна;
Aleksandr Serkov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: saa@kpi.kharkov.ua; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-6446-5523

Бреславець Віталій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна;
Vitaliy Breslavets – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: bres123@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-9954-159X

Яковенко Ігор Володимирович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри систем інформації, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна;

Igor Yakovenko – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;
e-mail: yakovenko60iv@ukr.net; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-0963-4347

Електромагнітна сумісність напівпровідникових структур з двовимірним електронним шаром

В. І. Кравченко, В. В. Князєв, О. А. Серков, В. С. Бреславець, І. В. Яковенко

Анотація. Предметом вивчення є процес аналізу механізмів взаємодії потоку заряджених частинок з поверхневими плазмонами двовимірного електронного шару (2D), зумовлені впливом зовнішнього імпульсного електромагнітного випромінювання (ЕМВ). **Метою** є отримання розрахункових співвідношень, що визначають ступінь впливу нестійкостей власних коливань двовимірного електронного шару напівпровідникових структур на працездатність напівпровідникових приладів. **Об'єктом** дослідження є: модель виникнення оборотних відмов електрорадіовиробів, що виникають внаслідок трансформації енергії наведених зовнішнім імпульсним випромінюванням струмів на збудження електростатичних коливань двовимірного електронного шару напівпровідникових структур. Використовувані **методи**: аналітичні методи рішення рівнянь електродинаміки (Максвелла) і матеріальних рівнянь в рамках кінетичного підходу. Отримані наступні **результати**: Досліджено механізми взаємодії потоку заряджених частинок з власними електромагнітними коливаннями двовимірного електронного газу, виникнення якого обумовлено наявністю потенційного бар'єру на межі поділу середовищ. Проведено дослідження функціонування напівпровідникових комплектуючих електрорадіовиробів (структур з двовимірним електронним газом) в умовах впливу сильних імпульсних електромагнітних полів. Отримано кінетичне рівняння, що описує зміну числа електромагнітних коливань такої системи. Наведено його рішення, що дозволяє визначати вплив величини бар'єру на інкремент нестійкості поверхневих коливань; внесок в величину інкременту пройшла і відбитої компонент потоку частинок. Вирази для інкременту нестікостей дозволяють визначати енергетичні втрати наведених струмів на збудження власних коливань, тобто появі режиму генерації коливань, який характеризується зміною вольт - амперних характеристик радіовиробів. **Висновки**. Проведено порівняльний аналіз нестійкостей коливань структур з двовимірним електронним газом в умовах, коли взаємодія хвиль і частинок носить випадковий і детермінований характер. Показано, що відмінності в виразах для інкрементів пов'язані зі зміною розмірів області взаємодії хвиль і частинок. Встановлено відмінності впливу потенційного бар'єру на величину інкременту в випадках, коли процес взаємодія поверхневих плазмонів і заряджених частинок детермінований або носить характер випадкових зіткнень. Визначено механізми впливу кордону на взаємодію поверхневих електромагнітних коливань і електронів при наявності потенційного бар'єру. Як об'єкти досліджень розглянуті власні електромагнітні коливання двовимірного електронного шару. Результати, отримані в роботі, можуть бути використані при оцінці працездатності радіоелектронної апаратури міліметрового і субміліметрового діапазонів в умовах впливу імпульсних електромагнітних полів.

Ключові слова: електромагнітні поля; коливання; напівпровідник; кінетичні нестійкості; потенційний бар'єр; потік заряджених частинок; генерація; енергія випромінювання.

Электромагнитная совместимость полупроводниковых структур с двумерным электронным слоем

В. И. Кравченко, В. В. Князев, А. А. Серков, В. С. Бреславец, И. В. Яковенко

Аннотация. Предметом изучения является процесс анализа механизмов взаимодействия потока заряженных частиц с поверхностными плазмонами двумерного электронного слоя (2D), обусловленные воздействием внешнего импульсного электромагнитного излучения (ЭМИ). **Целью** есть получение расчетных соотношений, определяющих степень влияния неустойчивостей собственных колебаний двумерного электронного слоя полупроводниковых структур на работоспособность полупроводниковых приборов. **Объектом** исследования является: модель возникновения обратимых отказов электрорадиоизделий, возникающих вследствие трансформации энергии наведенной внешним импульсным излучением токов на возбуждение электростатических колебаний двумерного электронного слоя полупроводниковых структур. Используемые **методы**: аналитические методы решения уравнений электродинамики (Максвелла) и материальных уравнений в рамках кинетического подхода. Получены следующие **результаты**: Исследованы механизмы взаимодействия потока заряженных частиц с собственными электромагнитными колебаниями двумерного электронного газа, возникновение которого обусловлено наличием потенциального барьера на границе раздела сред. Проведены исследования функционирования полупроводниковых комплектующих электрорадиоизделий (структур с двумерным электронным газом) в условиях воздействия сильных импульсных электромагнитных полей. Получено кинетическое уравнение, описывающее изменение числа электромагнитных колебаний такой системы. Приведено его решение, позволяющее определять влияние величины барьера на инкремент неустойчивости поверхностных колебаний; вклад в величину инкремента прошедшей и отраженной компонент потока частиц. Выражения для инкремента неустойчивостей позволяют определять энергетические потери наведенных токов на возбуждение собственных колебаний, т.е. появлению режима генерации колебаний, который характеризуется изменением вольт – амперных характеристик радиоизделий. **Выводы.** Проведен сравнительный анализ неустойчивостей колебаний структур с двумерным электронным газом в условиях, когда взаимодействие волн и частиц носит случайный и детерминированный характер. Показано, что различия в выражениях для инкрементов связаны с изменением размеров области взаимодействия волн и частиц. Установлены различия влияния потенциального барьера на величину инкремента в случаях, когда процесс взаимодействие поверхностных плазмонов и заряженных частиц детерминирован или носит характер случайных столкновений. Определены механизмы влияния границы на взаимодействие поверхностных электромагнитных колебаний и электронов при наличии потенциального барьера. В качестве объектов исследований рассмотрены собственные электромагнитные колебаний двумерного электронного слоя. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при оценке работоспособности радиоэлектронной аппаратуры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в условиях воздействия импульсных электромагнитных полей.

Ключевые слова: электромагнитные поля; колебания; полупроводник; кинетические неустойчивости; потенциальный барьер; поток заряженных частиц; генерация; энергия излучения.

UDC 51-7; 519.2 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.21**

V. M. Mammadov

War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan

THE EXPERT EVALUATION AND INFORMATIONAL ENTROPY IN RECONNAISSANCE DATA PROCESSING

Abstract. The reconnaissance data processing plays much role in warfare. The validity of this information is one of the most necessities for staff correct decision-making. Information entropy is a measure of data uncertainty. In information theory the concept of entropy describes how much information there is in signal or event. Information entropy relates to uncertainty amount concerning an event associated with given probability distribution. In this paper, the main importance of information entropy has been shown. In the same time, the application of both information entropy and expert evaluation methods in reconnaissance data processing has been considered. In consideration of the several sources of reconnaissance data, the calculation method of this information validity assessment has been offered on the basis of information entropy and expert evaluation.

Keywords: reconnaissance data processing; information entropy; data source; expert evaluation.

İntroduction

The reconnaissance data processing plays much role in warfare [1]. The validity of this information is one of the most necessities for staff correct decision-making. For solve this task the calculation of information entropy and expert evolutions [2] have been offered for processing of reconnaissance data and assessment of validity.

There are reasons to define information as the negative of the logarithm of the probability distribution in technical sense. The probability distribution of the events, coupled with the information amount of every event, forms a random variable whose expected value is the average amount of information, or entropy, generated by this distribution. Units of entropy are the Shannon, Nat, or Hartley, depending on the base of the logarithm used to define it, though the Shannon is commonly referred to as a bit.

It is known, that information entropy is data uncertainty measure [3, 4]. In information theory the concept of entropy describes how much information there is in signal or event. Information entropy relates to uncertainty amount concerning an event associated with given probability distribution. In this paper, the main content of information entropy is shown; the possibility of application of information entropy and expert avalution in reconnaissance data processing has been considered; the method of entropy calculation for several sources got information has been offered.

Information entropy

The concept of entropy in information theory describes how much information there is in a signal or event. Shannon introduced the idea of information entropy in his 1948 paper "A Mathematical Theory of Communication" [5, 6]. It was used for measurement of usefull information in signals transfer by use of wires. In general, Shannon's theory is used in investigations for various information transfer and store. In information science, the entropy is an information uncertainty measure. It equals to transfered information amount in the case of not information loss. If in communication channel an input signal equals absolutely to an output one, then it is means that entropy equal zero, that is an entropy is absent. If there is not noise, then information is maximum.

The dependence of entropy on information is next:

$$H + Y = 1, \quad (1)$$

where H is entropy, Y is information.

It was obtained and justificated by Leon Brillouin [7]. For entropy calculation K. Shannon had been offered the expression liked to Boltzmann's classic entropy:

$$H(A) = H\left(p_1 + ... + p_n\right) = -\sum_{k=1} p_k \log_2 p_k , \quad (2)$$

where H is Shannon's entropy, p_k is a probability of some event [8].

Shannon's entropy defines quantitatively a validity of transfered information and it is used for calculation of information amount. The more amount of ontained information, the more data about this event (state), the less uncertainty and the less of entropy. Entropy has interesting properties and these special features confirm its amount measure uncertainty [8]:

1) entropy equals zero if only the probability of one event (state) p_1 equals 1 (one) and the probabilities of other enevts (states) p_i equal zero; in all other cases entropy is positive:

$$(H(A) = 0 \Leftrightarrow p_1 = 1, p_2 = 0,..., p_n = 0) \wedge (H(A) > 0);$$

2) H is maximum for given n and it equals to $\log_2 n$ when

$$p_1 = p_2 = ... = p_n = 1/n ; \quad (3)$$

3) if A and B are two independent random objects with number of n and m states, respectively, then

$$H(AB) = H(A) + H(B). \quad (4)$$

That is, entropy of two information equals to sum of two entropies of each infomations.

When developing of obtained information, firstly, the special uncertainty of information is calculated:

$$I = -\log_2 p_n. \quad (5)$$

Then, the uncertainty of average information is calculated:

$$I_A = H(A) = -p_1 \log_2 p_1 - p_n \log_2 p_n. \quad (6)$$

Obtained results should be consider in information avalution.

Information entropy application in reconnaissance data processing

In consideration of above results, information entropy in reconnaissance data processing can be applied. Entropy of information about some event or state defines its reliability. When entropy calculation it should be consider another data and possibilities concerning this event or state. The information entropy nearer to zero, the more information reliability.

Example 1. Let us determine a special (attracted) information about enemy in "Tomorrow enemy's forces will attack" reconnaissance data. Let enemy can attack in any day of the week with the same probability and this probability is $p = 1/7$. The special information of this data is

$$I = -\log_2(1/7) \approx 2.81 \text{ bit.}$$

Therefore, the uncertainty of "Tomorrow enemy's forces will attack" data equals 2.81. There are two probabilistic states of events in above example. Let us adopt that A_1 is the enemy's attack day and A_2 is not the enemy's attack day. The probabilities of these state are

$$\forall A_1, p = 1/7; \quad \forall A_2, p = 6/7.$$

correspondingly.

Average information is

$$I_A = H(A) = -\frac{1}{7}\log_2\frac{1}{7} - \frac{6}{7}\log_2\frac{6}{7} \approx 0.59.$$

The uncertainty of average information of this data is 0,59. Usually, reconnaissance data about some of event (state) are obtained from several sources. Information entropies of various sources obtained data are calculated and then the average value is determined:

$$H_m = \left(H_{m1} + H_{m2} + ... + H_{mn}\right)/n. \qquad (7)$$

Example 2: there have been obtained reconnaissance data from three sources:

1) from source m_1 – "In some day of this week enemy's forces E will attack";

2) from source m_2 – "Tomorrow enemy's forces E will attack";

3) from source m_3 – "Tomorrow at 6 a.m. enemy's forces E will atack".

Let us calculate entropy of above given data:

$$H_{m1}(E) = -\frac{1}{7}\log_2\frac{1}{7} - \frac{6}{7}\log_2\frac{6}{7} \approx 0.59;$$

$$H_{m2}(E) = -\frac{1}{24}\log_2\frac{1}{24} - \frac{23}{24}\log_2\frac{23}{24} \approx 0.25;$$

$$H_{m3}(E) = -\frac{1}{60}\log_2\frac{1}{60} - \frac{59}{60}\log_2\frac{59}{60} \approx 0.12.$$

Thus, the average information entropy of data obtained about enemy E is

$$H_m = \left(0.59 + 0.25 + 0.12\right)/3 \approx 0.32. \qquad (8)$$

The increasing of probability degree leads to decreasing information entropy and to inceasing degree of data validity. For icreasing the probability degree, several questions should be determined and its answers should be found. For this purpose, n questions can be determined. But, for provide of rationality the minimum questions can be defined. For determination of probable event (state) realization by application of entropy calculation, the number of questions which demand answers, can be determined.

For instance, enemy want to attack at some of X day in interval [1÷7] days in this month, $1 \le X \le 7$.

The minimum questions should be given for "Eys" and "No" answers in purpose of revealing of this attack day. Let us determine information about X day in data. The probabilities of all $X \in [1,7]$ days equal $p_1 = p_2 = ... = p_7 = 1/7$ and then $I_X = -\log_2(1/7) \approx 3$.

Thus, minimum 3 questions are nessesary for attack day determination. Really, in this condition with equal probability "Eys" and "No" answers providing three questions are sufficient.

Let us consider that "4" day of the month is outline for attack and let us define questions:

Question 1: Is X-day nearly that "4"?

Answer:. No.

Result: X-day is one of "4", "5", "6", "7".

Question 2: Is X-day nearly that "6"?

Answer: Yes.

Result: X–day is one of "4" or "5".

Question 3: Is X-day nearly "5"?

Answer: Yes.

Result: X –day is "4".

As it is shown, three questions allow to determine attack day in interval [1÷7] days.

Thus, by use of this method the tasks can be determined additional data necessary for reconnaissance forces and means.

Expert avaluation application in reconnaissance data processing.

The consideration of experience results has importance sense in reconnaissance data processing, too. The additional information about frequency, sequence and other properties of some previously event (state) increases a certainty degree of data. The expert avalution (opinion) is offered to apply in reconnaissance data processing by transforming it to quantitative state. The expert avalution determines a degree of event probability. Below, it is offered a ranging of probable degrees based on the expert experience:

a full probability - 0,95;

a high probability - 0,8;

a medium probability - 0,5);

a low probability - 0,3;

a very low probability - 0,1).

The entropy of expert opinion can be calculated by beloü formula

$$H_e = -p_e \log_2 p_e$$

where H_e is an etntropy of expert opinion, p_e is a probability of this expert opinion.

The expert opinion is agreed with obtained information in reconnaissance data processing and connected with event (M) the average information

entropy is determined: $H_M = H_m \cdot H_e$, where H_m is the information entropy obtained from source.

For instance, in above pointed example 2, "Tomorrow at 6 a.m. enemy's forces E will atack" information is evaluted by the expert in consideration of previously experience. Then, the expert suggests that with high probability enemy forces will attack in the morning.

The entropy of expert opinion is:

$$H_e = -0.8\log_2 0.8 \approx 0.25. \quad (9)$$

By the information entropy (8) and the expert entropy (9) mutual applied the average entropy of reconnaissance (degree of a validity) is

$$H_E = 0.32 \cdot 0.25 \approx 0.08.$$

Thus, the uncertainty of information is 0.08. That is, most probably this reconnaissance information is not correct.

Conclusion

So, by applied of entropy in reconnaissance data processing, by mutual consideration of data from several sources and expert opinion, the validity of information obtained from war zone can be evaluated and recomemded. Investigations have shown that mutual avalution of the same time obtained information entropy and expert opinion entropy in processing of obtained from several souces reconnaissance data provides a high probability of degree of a validity of this information. The offered method has been demostrated on the some examples.

REFERENCES

1. Goztepe, K. (2014), "War Game: Strategic Decision Making for Battlefield", *Journal of Mil. & Inf. Science*, 2(3), pp. 50-52.
2. Samochvalov, Yu.Ya. and Naumenco, E.M. (2007), *Expert evolution. Methodological aspect*, State University of Information-communication technology, Kyiv, 264 p.
3. Robert, M. Gray (2013), *Entropy and Information Theory*, Stanford University, Springer-Verlag, New York, 311 p.
4. Korotaev, S.M. *Entropy and information-universal nature means*, 13.02.2019, 21 p., available at: http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/korotaev_entropia/korotaev_entropia.htm
5. Shannon, C.E. (1948), "A mathematical theory of communication", *Bell Syst. Tech. J.*, 27:379,423,623,656.
6. Schurmann, T. (2004), "Bias Analysis in Entropy Estimation", *J. Phys. A: Math. Gen*. 37, L295-L301.
7. Leon, Brillouin (1962), "Science and Information Theory", *Academic Press*, New York, 350 p.
8. Koshkin, G.M. (2001), "Entropy and information", *Sorov's educational journal*, vol. 7, No. 11, pp. 122-127.

Надійшла (received) 30.09.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Мамедов Вугар Мамедгусейн – полковник, завідувач кафедри, Військова Академія Збройних Сил Азербайджанської Республіки, Баку, Азербайджан;

Vugar Mammadhuseyn Mammadov – colonel, Head of Department, War College of Armed Forces of the Azerbaijan Republic, Baku, Azerbaijan;

e-mail: vuqar70mm@mail.ru; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-0420-7864

Експертна оцінка та інформаційна ентропія в обробці розвідувальних відомостей

В. М. Мамедов

Анотація. Обробка розвідувальної інформації відіграє велику роль у військових діях. Обґрунтованість цієї інформації є найбільш необхідною для вірного прийняття рішення командуванням. Інформаційна ентропія це є міра невизначеності даних. У теорії інформації концепція ентропії описує кількість інформації в сигналі або подію. Інформаційна ентропія встановлює кількісний зв'язок невизначеності, що стосується події, асоційований з даними про розподіл ймовірності. У даній статті показана велика роль інформаційної ентропії. Розглянуто одночасне застосування методів інформаційної ентропії та експертної оцінки в обробці розвідувальних даних. З урахуванням декількох джерел розвідувальної інформації, запропонований метод оцінки правдоподібності цієї інформації на основі інформаційної ентропії та експертної оцінки.

Ключові слова: обробка розвідувальної інформації; інформаційна ентропія; джерело інформації; експертна оцінка.

Экспертная оценка и информационная энтропия в обработке разведывательных сведений

В. М. Мамедов

Аннотация. Обработка разведывательной информации играет большую роль в военных действиях. Обоснованность этой информации является наиболее необходимым для верного принятия решения командованием. Информационная энтропия это есть мера неопределенности данных. В теории информации концепция энтропии описывает количество информации в сигнале или событии. Информационная энтропия устанавливает количественную связь неопределенности, касающейся события, ассоциированную с данным распределением вероятности. В данной статье показана большая роль информационной энтропии. Рассмотрено одновременное применение методов информационной энтропии и экспертной оценки в обработке разведывательных данных. С учетом нескольких источников разведывательной информации, предложен метод оценки правдоподобия этой информации на основе информационной энтропии и экспертной оценки.

Ключевые слова: обработка разведывательной информации; информационная энтропия; источник информации; экспертная оценка.

UDC 004.7 **doi: 10.20998/2522-9052.2019.4.22**

Amin Salih Mohammed[1,2], Saravana Balaji B.[1], Saleem Basha M. S.[3]

[1] Lebanese French University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq
[2] Salahaddin University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq
[3] Mazoon College, Muscat, Oman

FUZZY APPLIED ENERGY AWARE CLUSTERING BASED ROUTING FOR IOT NETWORKS

Abstract. The Internet of Things (IoT) depends on interconnection of clever and addressable gadgets, permitting their self-sufficiency and proactive conduct with Internet availability. Information dispersal in IoT normally relies upon the application and requires setting mindful steering conventions that must incorporate auto-setup highlights (which adjust the conduct of the system at runtime, in light of setting data). This paper proposes a methodology for IoT course determination utilizing fuzzy rationale so as to accomplish the necessities of explicit applications. For this situation, fuzzy rationale is utilized to decipher in math terms the uncertain data communicated by a lot of phonetic guidelines. The criteria of vitality status, QoS effect and hub area are taken as the fundamental factors that can impact the choice of group heads while every measure contains some sub-criteria. For routing, FEACR - Fuzzy applied energy aware clustering based routing for IoT Networks is utilized to upgrade the information conveyance dependability. The bunch based directing is a proficient way to diminish the vitality utilization. From the tests led in this examination work utilizing the proposed model, it is demonstrated that the proposed directing calculation gave better system execution as far as the measurements to be specific defer time, packet conveyance proportion, and system lifetime.

Keywords: Internet of Things; Routing; Fuzzy Clustering; Sensors.

Introduction

Wireless sensor network is a blend of remote systems which is consolidated in an extended mix of disseminated self-sufficient gadget. The exceptional self-governing gadget utilizing the sensor to redress the physical and natural conditions. Web of Things (IoT) is an ongoing and developing examination territory of social, specialized and financial importance [1]. It empowers the machine to machine correspondence over the web, without human association [2-4]. The basic structure of Internet of Things (IoT) is given in Fig. 1.

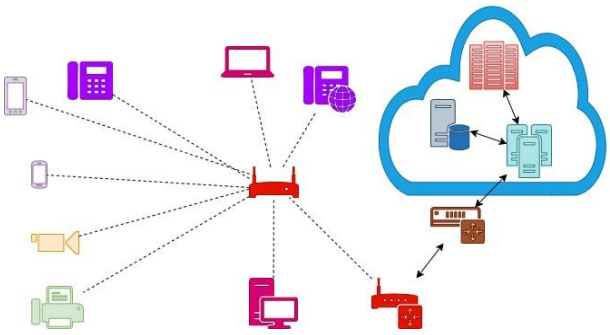


Fig. 1. IoT Structure

These days, the individuals are utilizing IoT application, for example, brilliant home, keen city, social insurance, wearable, savvy framework, associated vehicle, shrewd retail, keen store network and keen cultivating [3]. Among the most encouraging advancements for the IoT worldview, RFID and Wireless Sensor Networks (WSNs) are the most well-known and fitting [5, 6]. WSNs have restrictions on the distinguishing proof of an individual or article in certain kinds of utilizations. Notwithstanding, not at all like WSNs, RFID frameworks can't detect information from the spot in which they are utilized, for example, stickiness, temperature and weight that are given by sensors. This means IoT, by methods for the coordination between the RFID and WSN advancements, boosts the advantages, subsequently opening up new viewpoints for applications that think about setting data, for example, temperature checking in remote zones and air nature of a particular city or locale, vehicle control streams, among others. Accordingly, the things outfitted with sensors in IoT organize have constrained registering, memory, handset module and power capacities, along these lines, convey in a short-extend separation [7]. In IoT, the vitality imperative is an urgent issue, as things are generally worked on constrained battery control. LLN is a system, which made out of asset compelled gadgets interconnected by the remote connections [8]. Directing assumes a crucial job for vitality protection in Low power and lossy systems (LLN). In LLN, the directing convention has the requirements like low information handling limit, constrained memory and vitality. In addition, LLN steering configuration need to self-compose the system hubs; by recuperating itself without manual contribution [9]. The acknowledgment of vitality productive directing to accomplish a savvy correspondence in IoT is the examination target of this paper. Numerous vitality productive plans for different systems, for example, remote sensor systems (WSN) [10-12] and specially appointed systems [13-15] have been generally proposed in the ongoing past to drag out system lifetime by diminishing the vitality utilization of sensor hubs. Be that as it may, the conventional vitality proficient steering measurements characterized for WSN and specially appointed systems are not suitable in IoT because of its dynamic system topology, inhumane packet misfortune, information rates, connect limit, interface quality, channel decent variety, impedance, and different other directing necessities [1].Clustering and multi-jump directing is the normal way to deal with improve vitality productivity of the system. Rather than

giving every hub access the system forward its very own data to the base station legitimately, they are assembled into various bunches. In view of certain criteria, a bunch head (CH) hub is chosen in each group. The CH hub will assemble data from other bunch part hubs and afterward forward the prepared data to base station by means of different bounces utilizing other CH hubs. The advantage of such plan is twofold. To begin with, the CH hub can pack the information gathered from group part hubs to decrease undesirable excess. Second, the vitality proficiency is extraordinarily improved by giving most hubs access the system transmit to a close by CH hub, and constraining the various jump correspondence to CH hubs as it were. The paper is sorted out as pursues: Section 2 depicts the related work. Segment 3 depicts the Proposed Routing convention plan. Section 4 speaks to the exhibition assessment. At last, we finish up and examine the future work in segment 5.

1. Related Work

In [16] creators have displayed a Survivable Path Routing in WSN for IoT applications. This paper presents a clog and impedance mindful vitality productive directing framework for WSN explicitly, Survivable Path Routing. This convention work in the frameworks with high traffic considering the way that various sources try to send their packets to an objective meanwhile, which is a customary circumstance in IoT applications for remote restorative administrations watching. For picking the following bounce hub, the calculation uses a rule which is a segment of three factors: sign to obstruction and clamor proportion of the connection, the survivability factors the way from the following jump hub to the goal, and the blockage level at the following jump hub. Entertainment results suggest that the presented convention works better concerning the framework throughput, start to finish delay, packet conveyance proportion and the rest of the vitality level of the hubs. In [16], the creators proposed a calculation that controls the likelihood of sending RREQ packets as per the lingering vitality of the hub. A vitality proficient directing convention dependent on AODV convention by considering the transmission control and remaining vitality limit of the portable hubs is proposed in [17]. Also, the likelihood based improved telecom calculation [18] lessens the RREQ messages by utilizing a telecom likelihood together with the thought of the leftover vitality of hubs. In [19], the creators utilized fuzzy standards for choosing reasonable bunch takes and for take away the steering procedure through the group heads. Such models gave improvement in execution upto a specific degree. Nonetheless, the precision is to be upgraded further for settling on progressively exact choices. The fuzzy guidelines can be extended by thinking about extra number of traits. Thusly in [20], the creators built up a fuzzy based directing model by considering the factors to be specific separation and vitality. Be that as it may, the vitality effectiveness issue couldn't be tackled completely because of the idea of the sensor hubs. Thus, it is important to consider a superior learning system that can be incorporated with fuzzy rationale in-order to deal with the vulnerability issue and to perform powerful expectation. Mhemedet. al. [121] proposed another methodology on group arrangement. In their work, fuzzy rationale was utilized to shape the groups in arrange dependent on three parameters to be specific vitality, separation of hubs from bunch head and the separation of the sink hub. They have demonstrated the upgrade in the system life length of WSN. In [22], creators proposed fuzzy rationale approach for inconsistent bunching. The creators utilized CH degree and the separation to the sink for the decision of CH. Taheri et al. [23] proposed another and vitality mindful steering convention which is additionally a circulated and dynamic grouping based convention that utilizations three stages in particular probabilistic CH political race process, use of fuzzy rationale for basic leadership and the arrangement of on request bunching. Their model spotlights on all rounds and thus it performs grouping persistently like the LEACH convention. The HEED calculation which was proposed by Younis and Fahmy [24] is a vitality productive group based steering calculation that chooses the bunch heads haphazardly by utilizing the likelihood esteems so as to perform bunch based directing viably. In any case, HEED changes the CHs all the more consistently over the sensor arrange in numerous cycles among littler group ranges. In addition, every hub in HEED calculation can turn into a CH through pivot approach utilizing its own likelihood esteems when the calculation is hearing no bunch head-announcement from the neighbor hubs. The primary favorable position of HEED is that the CHs are chosen dependent on the revolution strategy. Also, the choice procedure has been improved by applying rules all the more adequately. In any case, the vast majority of the above talked about calculations took a shot at CH determination utilizing fuzzy rationale and just a couple dealt with group development. Moreover, the current works concentrated on basic leadership utilizing fuzzy rationale and considered directing without profound learning of the system [22] and [24].Authors in [27] propose a new protocol called neuro-fuzzy based cluster formation protocol (FBCFP), which performs learning of the network by considering four important components namely current energy level of the CH, distance of the CH from the sink node, change in area between the nodes present in the cluster and the CH due to mobility and the degree of the CH. For this purpose, the network is trained with convolutional neural network with fuzzy rules for weight adjustment. Authors in [26] introduced adaptive fuzzy rule based energy efficient clustering and immune-inspired routing (FEEC-IIR) protocol for WSN assisted IoT system. For an optimal cluster head selection, adaptive fuzzy multi-criteria decision making approach (AF-MCDM) is used which is a combination of fuzzy AHP and TOPSIS method is introduced an energy efficient clustering algorithm. Regardless of the accessibility of every one of these works in the writing on shrewd group based directing for WSN, a large portion of the current frameworks utilized just the bunching methods dependent on separation. Anyway in a sensor organize, vitality effectiveness is a significant parameter that must be considered for improving the system life time. In this work, fuzzy standards are utilized for settling

on increasingly effective choices to give an ideal incentive in the course disclosure process. The proposed model considered the sensors present in the IOT situation and consequently the current directing conventions which were proposed for steering in remote sensor systems are not ready to give ideal vitality utilization arrangement. In any case, the proposed vitality productive methodology for group arrangement and bunch based directing gives ideal outcomes by diminishing the vitality utilization and deferral. Additionally, the steering calculation created in this examination work is expanding the packet conveyance proportion by dodging hub disappointments. This is accomplished by the viable observing of vitality levels and along these lines dodging the packet drops happening because of hub disappointments by vitality. At last, it is seen that the proposed work gives ideal outcomes regard to the improvement concerning QoS in IoT based WSNs.

2. Fuzzy applied energy aware clustering based routing

In the uses of WSN, vitality effectiveness is a fundamental issue. By utilizing bunching with information total is a fundamental method to upgrade the vitality productivity through programming based conventions. In the bunching calculation, the group head choice is the primary issue. To take care of the above issue, we introduced a multi criteria basic leadership process. In this paper, a versatile fuzzy multi-criteria basic leadership approach (AF-MCDM) is used in which fuzzy AHP and TOPSIS strategies are joined together for bunch head determination of the ideal basic leadership to build up a conveyed vitality effective grouping calculation. To accomplish information conveyance dependability invulnerable enlivened enhancement calculation is utilized to expand the information conveyance unwavering quality, two destinations should be considered all the while:

- achieve low cost of inside cluster transmission;
- achieve low cost of outside cluster transmission.

The complete expense of the connections between all the group individuals and their reporter CHs is called as the intra-bunch correspondence cost. The all out cost of the developed tree, the between bunch correspondence cost, is characterized as the entirety of the expenses of the connections between the CHs shaping that tree. The presented framework will be actualized in MATLAB stage. The display is evaluated and differentiated and before grouping and coordinating arrangement with respect to Quality of organization parameters, for instance, bundle movement extent, parcel adversity extent, throughput, sort out lifetime, all the way delay, channel load, jitter, bit botch rate, bolster inhabitance and imperativeness use. In this section we give the bits of knowledge with respect to the four parameters to be explicit current essentialness level of the CH, space between Cluster Head and Sink, space among center and CH [10] and CH degree for convincing gathering improvement. In the wake of picking the CH, various center points are allowed to join the framework by affiliating with a sensible CH in order to divert into a person from anyone of these packs and they are supported by the CH reliant on the use of cushioned rules. The system has 4 commitments from the data layer, 256 guidelines from the covered layers and 1 yield from the yield layer. In this structure, we used four semantic factors each with three levels including the proposed parameter CH degree. Hence the framework uses the triangular and trapezoidal support functions as in [21] nearby convolutional neural framework to outline decision principles. Also, the neuro-fuzzy standard framework utilizes the fuzzy participation capacities.

The vitality is the most significant asset which considered in remote sensor systems. Bunch heads are hubs expend more vitality than group individuals when they remember for collecting, handling and steering information. The leftover vitality is processed as following articulation.

$$Er = E - Ec. \quad (1)$$

Expected information check is a remote connection metric and it predicts the connection quality from number of transmission and including retransmission of the information conveyance [25]. The EDX metric computes from (2) and (3).

Link EDX. EDX speaks to the forward and turn around information conveyance of the specific connection. The forward information conveyance (DDf) speaks to the likelihood of information bundle that effectively came to at beneficiary and switch information conveyance (DDr) speaks to the likelihood that affirmation parcel got effectively at the sender.

$$LEDX = 1/(DDf \cdot DDr). \quad (2)$$

Route EDX. Route EDX finds the link quality of particular path Px. The Route EDX calculates from (5).

$$REDX = \sum_{i=1}^{n} LEDXi \quad (3)$$

3. Proposed Algorithm

Input: set of nodes N, node energy E and their position (x,y)
Output: M number of Clusters and M cluster heads CH
Step 1: For all nodes of N calculate Energy E and position (x,y)
Step 2: ∀ Nn transmit beacon and calculate distance d.
Step 3: K-means(∀ Nn)
Cluster set xx = Call(∀ Nn).
Step 4: for I =1 to XX
CH = Ni(E,d) > Nj(E,d)
Step 5: $LEDX = 1/(DDf \cdot DDr)$
Step 6: $REDX = \sum_{i=1}^{n} LEDXi$
Step 7: Return CH*m*
Step 8: Check for current energy CE.
Step 9: If CE < E goto step 4.
Step 10: if CH not active goto step 3.
End.

Using this algorithm, the data collected by the sensor nodes are sent to the base station periodically. The algorithm is terminated whenever the energy level of half of the initial energy of the nodes are drained.

4. Performance Evaluation

The introduced (FEACR) protocol is implemented in MATLAB software. The simulation environment details are given in Table 1. The proposed protocol is compared with FEEC-IIR [26] and FBCFP [27].

Table I – **Simulation Environment**

Area	1000 * 1000 m
BS Location	500 – 1000 m
Number of Nodes	200
Initial Energy	0.7 j
Bandwidth	30 Kbps
Packet Size	750 Bytes
Node Distribution	Random
Antenna	Omni Directional

The parameters taken into account for performance evaluation are network lifetime, packet delivery ratio and delay time. Fig. 2 provides the performance evaluation in terms of packet delivery ratio.

From the Fig. 2, it is proved that the proposed FEACR is providing consistent delivery ratio even though more number of nodes are in the network. Figure 3 provides the performance comparison in terms of delay time in terms of milliseconds. Fig. 3 proves that the proposed method is performing well than other two methods and the delay time is reduced as number of nodes in the network increased. This is due to more alternate path are available for data transmission between source and destination. Fig. 4 provides the details of the comparison in terms of network life time in terms of seconds. From the Fig. 2, it is proved that the proposed FEACR is providing consistent delivery ratio even though more number of nodes are in the network. Fig. 3 provides the performance comparison in terms of delay time in terms of milliseconds.

Conclusion

In this paper, another directing calculation for IoT based sensor organizes that utilizations fuzzy principle based grouping approach for performing bunch based steering so as to upgrade the system execution. In this methodology, the bunch arrangement in WSNs used the vitality demonstrating for proficiently directing the packets through the use of AI utilizing convolutional neural system with fuzzy standards for weight alteration and henceforth the system lifetime is delayed. Additionally, we considered four parts in particular remaining vitality of the CH, space between the CH and the sink hub, space between the sensor hub and the CH and the level of the CH which are significant components for the vitality usage and system life range.

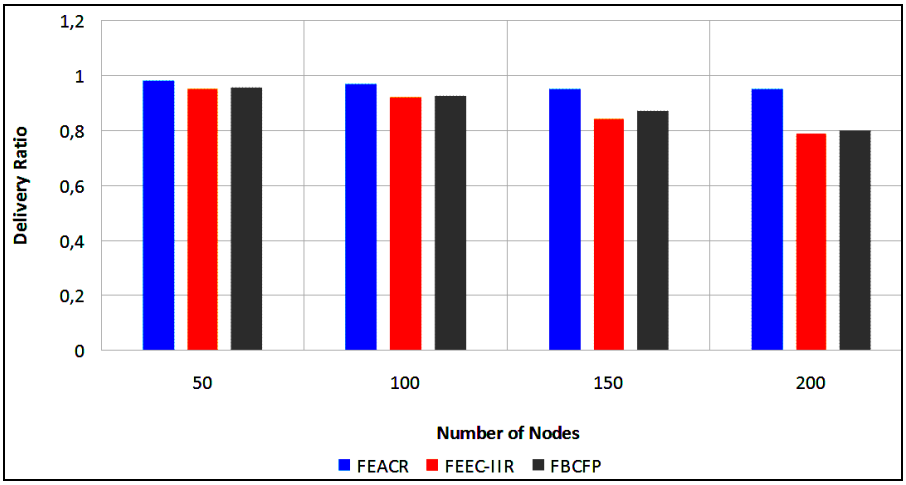


Fig. 2. Packet Delivery Ratio

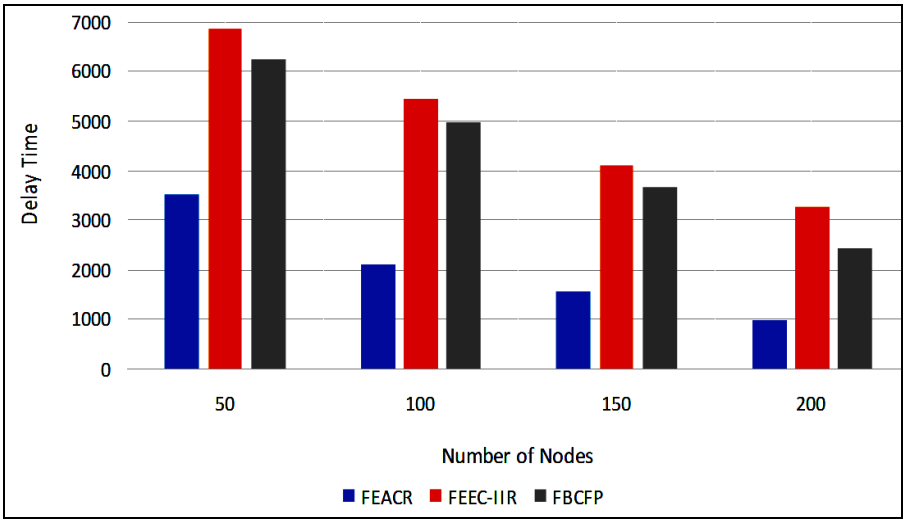


Fig. 3. Delay Time

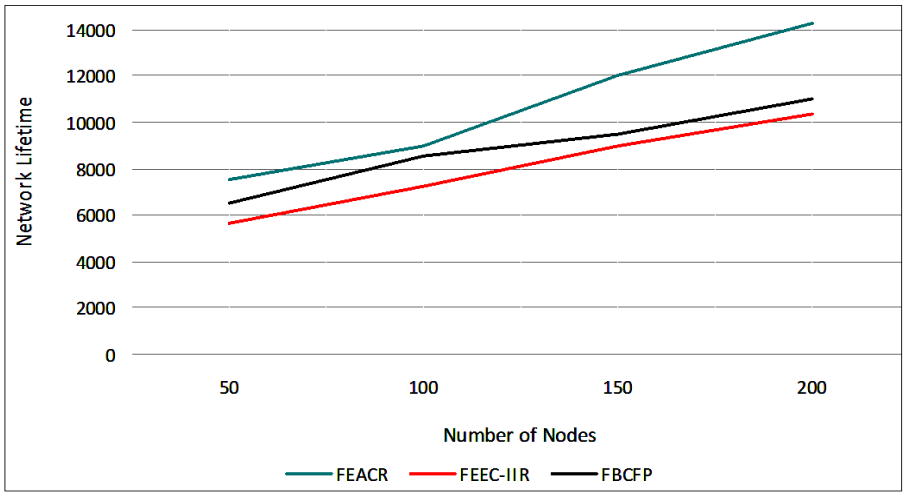


Fig. 4. Network Lifetime

We have assessed the proposed calculation utilizing recreations in which the previously mentioned segments were utilized as fuzzy factors. The yield estimation was utilized to decide the CH for the hub to join as a part. The reenactment result shows that FEACR gives the better execution as far as the packet conveyance proportion and system lifetime looked at and postpone time. As a feature of future work, it is wanted to give portability to the hubs, in low power and lossy systems and it is additionally arranged is to convey it in the ongoing condition.

REFERENCES

1. Lin, Jie, Wei Yu, Nan Zhang, Xinyu Yang, Hanlin Zhang and Wei Zhao (2017), "A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications", *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 4, Is. 5, pp: 1125-1142.
2. Gazis, Vangelis (2017), "A Survey of Standards for Machine-to-Machine and the Internet of Things", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 19, Issue 1, pp. 482-511.
3. Sankar, S. and Srinivasan, P. (2016), "Internet of Things (Iot): A Survey on Empowering Technologies, Research Opportunities and Applications", *International Journal of Pharmacy and Technology*, Vol. 8, pp. 26117-26141.
4. Sankar, S. and Srinivasan P. (2017), "Composite Metric Based Energy Efficient Routing Protocol for Internet of Things", *International Journal of Intelligent Engineering and Systems,* Vol. 10, Issue 5, pp. 278-286.
5. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M. and Ayyash, M. (2015), "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies", *Protocols and Applications. IEEE Commun. Surv. Tutor*, Vol. 17, pp. 2347–2376.
6. Sobral, J.V.V., Rabelo, R.A.L., Oliveira, D., Lima, J.C., Araujo, H.S. and Filho, R.H. (2015), "A Framework for Improving the Performance of IoT Applications", *Proc. of the 14th Int. Conf. on Wireless Networks*, Las Vegas, NV, USA.
7. Shah, B., Iqbal, F., Abbas, A. and Kim, K.-I. (2015), "Fuzzy Logic-Based Guaranteed Lifetime Protocol for Real-Time Wireless Sensor Networks", *Sensors*, vol. 15, pp. 20373-20391.
8. Kim, Hyung-Sin, Jeonggil, Ko, David, E. Culler, and Jeongyeup, Paek (2017), "Challenging the IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks (RPL): A Survey", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.19, Is.4, pp. 1-24.
9. Mohamed, Belghachi, and Feham, Mohamed (2015), "QoS Routing RPL for Low Power and Lossy Networks", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 11, Issue 11, DOI: https://doi.org/10.1155/2015/971545
10. Ammari, H.M. and Das, S.K. (2012), "Centralized and clustered k-coverage protocols for wireless sensor networks", *IEEE Transactions on Computers*, vol. 61, pp. 118-133.
11. Yardibi, T. and Karasan, E. (2010), "A distributed activity scheduling algorithm for wireless sensor network with partial coverage", *Wireless Networks*, vol. 16, pp. 213-225.
12. Shah, B. and Kim, K.-I. (2014), "A new real-time and guaranteed lifetime protocol in wireless sensor networks", *Int. Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2014, pp. 11-22.
13. Li, F., Luo, J., Wang, W. and He, Y. (2015), "Autonomous Deployment for Load Balancing-Surface Coverage in Sensor Networks Wireless Communications", *IEEE Transaction of Wireless Communication*, vol. 14, pp. 279- 293.
14. Wei, P., Chu, S., Wang, X. and Zhou, Y. (2010), "Deployment of a reinforcement backbone network with constraints of connection and resources", *Proc. of the IEEE 30th Int. Conf. on Distr. Comp. System (ICDCS)*, Genova, Italy, pp. 1019.
15. Li, F., Luo, J., Xin, S.Q., Wang, W.P. and He, Y. (2012), "Laacad: Load balancingk-area coverage through autonomous deployment in wireless sensor networks", *Proc. of the IEEE 32nd Int. Conf. on Distr. Comp. System*, Macau, China, pp. 566-575.
16. Wang, X., Li, L. and Ran, C. (2004), "An energy-aware probability routing in MANETs", *Proceedings of the IEEE Workshop on IP Operations and Management (IPOM '04)*, pp. 146-151.
17. Patil, P. (2011), "Design of an energy efficient routing protocol for MANETs based on AODV", *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 8, pp. 215-220.
18. Nand, P. and Sharma, S.C. (2011), "Probability based improved broadcasting for AODV routing protocol", *Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence and Communication Systems (CICN '11)*, pp. 621-625.
19. Gupta, D. Riordan and Sampalli, S. (2005), "Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks", *3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference (CNSR'05)*, pp. 255-260.
20. Kim, M., Park, S.H.Y., Han, J. and Chung, T.M. (2008), "CHEF: cluster head election mechanism using fuzzy logic in wireless sensor networks" , *10th international conference on in Advanced communication technology*, vol. 1, pp. 654-659.

21. Mhemed, R., Aslam, N., Phillips, W. and Comeau, F. (20120, "An energy efficient fuzzy logic cluster formation protocol in wireless sensor networks", *Procedia Computer Science*, vol.10, pp. 255-262.
22. Logambigai, R. and Kannan, A. (2016), "Fuzzy logic based unequal clustering for wireless sensor networks", *Wireless Networks*, vol. 22, no.3, pp. 945-957.
23. Taheri, H., Neamatollahi, P., Younis, O.M., Naghibzadeh, S. and Yaghmaee, M.H. (2012), "An energy-aware distributed clustering protocol in wireless sensor networks using fuzzy logic", *Ad Hoc Networks*, vol. 10, no. 7, pp. 1469-1481.
24. Youins, O. and Fahmy, S. (2004), "HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for ad hoc sensor networks," *IEEE Transactions on mobile computing*, vol. 3, no. 4, pp. 366-379.
25. De Couto, Douglas S.J., Daniel, Aguayo, John, Bicket, and Robert, Morris, (2005), "A high-Throughput Path Metric for Multi-Hop Wireless Routing", *Wireless networks*, Vol. 11, Issue 4, pp. 419-434.
26. Preeth, S.K.S.L., Dhanalakshmi, R. and Kumar, R. (2018), "An adaptive fuzzy rule based energy efficient clustering and immune-inspired routing protocol for WSN-assisted IoT system", *J Ambient Intell Human Comput*, https://doi.org/10.1007/s12652-018-1154-z
27. Thangaramya, K. Kulothungan, R. Logambigai, M. Selvi, Sannasi Ganapathy and A. Kannan (2019), "Energy DOI: aware cluster and neuro-fuzzy based routing algorithm for wireless sensor networks in IoT", *Computer Networks*, Vol. 151, pp. 211-223, DOI: https://doi.org/10.1016/j.comnet.2019.01.024.

Надійшла (received) 17.09.2019
Прийнята до друку (accepted for publication) 20.11.2019

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ / ABOUT THE AUTHORS

Амін Саліх Мохаммед – кандидат технічних наук, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії, Lebanese French University; доцент кафедри програмного забезпечення та інформатики, Salahaddin University, Ербіль, Курдистан, Ірак;
Amin Salih Mohammed – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Computer Engineering, Lebanese French University; Associate Professor Dept of Software and Informatics Engineering, Erbil, Salahaddin University, Kurdistan Region, Iraq;
e-mail: kakshar@lfu.edu.krd; amin.mohammed@su.edu.krd; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-2993-6182

Саравана Балайі Б. – доцент кафедри інформаційних технологій, Lebanese French University, Ербіль, Курдистан, Ірак;
B. Saravana Balaji – Associate Professor, Department of Information Technology, Lebanese French University, Erbil, Kurdistan Region, Iraq;
e-mail: saravanabalaji.b@lfu.edu.krd; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-9077-1658

Салем Баша М. С. – доцент кафедри обчислювальної техніки та інформатики, Mazoon College, Маскат, Оман;
Saleem Basha M. S. – Associate Professor, Dept of Computing & Informatics, Mazoon College, Muscat, Oman;
e-mail: m.s.saleembasha@gmail.com; ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-4005-3321

Маршрутизація в IoT мережах, орієнтована на кластеризацію із нечітко застосованою енергією

Амін Саліх Мохаммед, Саравана Балайі Б., Салем Баша М. С.

Анотація. Інтернет речей (IoT) залежить від взаємозв'язку розумних та адресних гаджетів, що дозволяє їх самодостатність та активну поведінку з наявністю Інтернету. Розповсюдження інформації в IoT зазвичай покладається на додаток і вимагає налаштування правил управління, які повинні включати основні функції автоматичного налаштування (які регулюють поведінку системи під час виконання, з урахуванням даних про налаштування). У статті пропонується методологія побудови IoT з використанням нечіткого обґрунтування з метою досягнення умов виконання заявок. У цій ситуації нечітке обґрунтування використовується для розшифровки невизначених даних, переданих множиною фонетичних вказівок. Критерії життєвого статусу, ефекту QoS та площі концентратора приймаються як основні фактори, які можуть впливати на вибір груп, в той час як кожен захід містить певні підкритерії. Для маршрутизації, для покращення надійності передачі інформації використовується FEACR - нечітка застосована енергія, орієнтована на кластеризацію, заснована на джерелах енергії для IoT Networks. Направлення, засноване на об'єднання, - це досвідчений спосіб зменшити використання життєвих сил. З тестів, проведених у цій дослідницькій роботі з використанням запропонованої моделі, показано, що запропонований підхід покращив роботу системи.

Ключові слова: Інтернет речей; маршрутизація; нечітка кластеризація; датчики.

Маршрутизация в IoT сетях, ориентированная на кластеризацию с нечетко применяемой энергией

Амин Салих Мохаммед, Саравана Балайи Б., Салем Баша М. С.

Аннотация. Интернет вещей (IoT) зависит от взаимосвязи разумных и адресных гаджетов, что позволяет их самодостаточность и активное поведение при наличии Интернета. Распространение информации в IoT обычно возлагается на приложение и требует настройки правил управления, которые должны включать основные функции автоматической настройки (которые регулируют поведение системы во время выполнения, с учетом данных о настройках). В статье предлагается методология построения IoT с использованием нечеткого обоснования с целью достижения условий выполнения заявок. В этой ситуации нечеткое обоснование используется для расшифровки неопределенных данных, передаваемых множеством фонетических указаний. Критерии жизненного статуса, эффекта QoS и площади концентратора принимаются как основные факторы, которые могут влиять на выбор групп, в то время как каждое мероприятие содержит определенные подкритерии. Для маршрутизации, для улучшения надежности передачи информации используется FEACR - нечетко применяемая энергия, ориентированная на кластеризацию, основанная на источниках энергии для IoT Networks. Направление, основанное на объединение - это опытный способ уменьшить использование жизненных сил. Из тестов, проведенных в этой исследовательской работе с использованием предложенной модели, показано, что предложенный подход улучшил работу системы.

Ключевые слова: Интернет вещей; маршрутизация; нечеткая кластеризация; датчики.